

Tero Huuhtanen

Poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkokeräinten kannattavuusvertailu kerrostalokiinteistössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
21.3.2012

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tero Huuhtanen Poistoilmalämpöpumppujen- ja aurinkokeräinten kannattavuusvertailu kerrostalokiinteistössä 65 sivua + 3 liitettä 15.2.2012
Tutkinto	insinööri AMK
Koulutusohjelma	talotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikan suuntautumisvaihtoehto
Ohjaaja	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Työn tarkoituksena oli vertailla ja selventää poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkokeräinten eroja asuinkerrostalokiinteistön lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tuottamisessa kaukolämmön rinnalla. Tarkoitus oli tutustua olemassa oleviin aurinkokeräin- ja poistoilmalämpöpumppukohteisiin sekä vertailla niiden taloudellista kannattavuutta.</p> <p>Työn alkuosiossa tutustutaan aurinkokeräinten ja poistoilmalämpöpumppujen teoriaan. Loppuosassa selvitetään järjestelmien kannattavuutta. Laskennan perustana toimivat esimerkkikohteiden kulutustiedot ja järjestelmien takaisinmaksuajat. Työn pääpaino on kuitenkin teoriaosuudessa.</p> <p>Työssä ilmenee, että poistoilmalämpöpumppujen takaisinmaksuajat ovat lyhyemmät kuin aurinkokeräinten. Erityisen tärkeää järjestelmien hankinnassa on kuitenkin kohdekohtainen suunnittelu ja käyttöönoton jälkeinen käytön seuranta.</p>	
Avainsanat	poistoilmalämpöpumppu, aurinkokeräin, energiatehokkuus, energiankulutus, kiinteistöjen ylläpito, käyttökustannukset, teknistenjärjestelmien hoito

Author Title Sivumäärä Date	Tero Huuhtanen The economical profitability comparison between exhaust air heat pump and solar energy collector in an apartment building 65 pages + 3 appendices 15 February 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering for Building Services
Instructor	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of the final year project was to compare and establish the differences between an exhaust air heat pump and a solar energy collector when used with district heating for the heating of and hot water production in an apartment building. Another aim was to get familiar with facilities that already use these methods of producing heat and hot water, and to compare their economical profitability.</p> <p>First, the theoretical aspects of the solar energy collectors and exhaust air heat pumps were studied. Then, the profitability of the two was established. For this, the existing facilities were looked into for data on consumption and pay-back time. The figures were then used in calculations in the Bachelor's thesis.</p> <p>It was found that the pay-back-time of the exhaust air heat pump is shorter than that of the solar energy collector. However, individual planning according to the location of the building, as well as monitoring the use of the chosen system are of vital importance when acquiring a new system.</p>	
Keywords	heat pump, solar collector, energy efficiency, energy consumption, real estate maintenance, operating costs, technical system maintenance

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lämpöpumput	4
2.1	Poistoilmalämpöpumput	6
2.2	Lämpöpumppujärjestelmän osat	7
2.3	Poistoilmalämpöpumpun suunnittelu ja mitoitus	11
2.4	Poistoilmalämpöpumpun liittäminen kaukolämpöön	13
3	Aurinkolämmitys	18
3.1	Passiivinen aurinkolämmitys	18
3.2	Aktiivinen aurinkolämmitys	20
3.3	Lämmönvarastointi varaajaan	21
3.4	Aurinkokeräimet	24
3.5	Pumppuyksikkö	27
3.6	Säädin	28
3.7	Lämmönsiirrin	28
3.8	Aurinkolämmityksen suunnittelu ja mitoitus	29
3.9	Aurinkolämmitysjärjestelmän liittäminen kaukolämpöön	30
4	Poistoilmalämpöpumpun ja aurinkokeräinten kannattavuusvertailu	34
4.1	Kiinteistöjen lähtötiedot	35
4.2	Lämmitysenergian normittaminen	37
4.3	Rakennuksen kulutusindeksi	43
4.4	Investoinnin takaisinmaksuaika ja nykyarvo	53
5	Yhteenveto	62
	Lähteet	63
	Liite 1. Kaukolämmön hinta	
	Liite 2. Sähkön hinta	
	Liite 3. Lämmitystarveluvut 1971–2000	

1 Johdanto

Nykyään jokainen on kuullut hybridautoista, jotka käyttävät kahta energialähdettä, yleensä bensiiniä ja sähköä. Fossiilisten polttoaineiden hinnan nousu on aiheuttanut sen, että monet asunnon omistajat hyödyntävät samaa tekniikkaa kotiansa lämmittämiseen ja jäähdyttämiseen. Vaikka käsite hybridilämmitys ei ole uusi, tekniikan parantuminen tekee tästä lämmitysmuodosta asuntojen omistajille yhä houkuttelevampaa kustannusten alentuessa ja takaisinmaksuaikojen lyhentyessä. Talvikuukausina käytetään lämmitykseen esimerkiksi öljyä tai pellettiä, kesäisin käyttöveden tuottamiseen riittää esimerkiksi aurinkokeräin.

(1; 2.)

Lämmitysjärjestelmien suunnittelussa on tapahtumassa muutos, jossa ajatuksena on koota eri järjestelmistä tarkoituksenmukainen kokonaisuus, joka palvelee tehokkaasti eri vuodenaikoina. Nykyiset hybridilämmitysjärjestelmät ovat monipuolisia, koska vesikiertoiseen lattialämmitykseen on mahdollista liittää erilaisia energialähteitä, esimerkiksi öljylämmitykseen voidaan yhdistää aurinkokeräimet. Uutta taloa rakennettaessa kannattaa investoida lämmitysjärjestelmään, jos tulevaisuudessa sen käyttö on halvempaa. Saneerauskohteet ovat yleensä hankalampia. Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttaa olennaisesti energian hinta ja sen muutos tulevaisuudessa. Tähän vaikuttavia asioita ovat maailmanmarkkinahinnat ja valtion veropäätökset. Energianhintojen muuttuminen tulevaisuudessa perustuu lähinnä arvailuihin. (1; 2.)

Suomessa asennetaan tällä hetkellä noin 50 000 lämpöpumppua vuodessa, joista suurin osa on ilmalämpöpumppuja. Jos nykyinen asennustahti pysyy samana, lämpöpumppuja on vuonna 2020 yhteensä 800 000. Tämä tarkoittaa 5–10 TWh uusiutuvaa energiaa lämmityksen ja käyttöveden tarpeisiin. (3, s. 94.)

Lämpöpumppua voidaan verrata toiminnaltaan jääkaappiin ja pakastimeen. Se kerää talon ulkopuolelta kylmemmästä ilmasta lämpöenergiaa ja luovuttaa tämän rakennuksen sisälle. Tehokas lämpöpumppu pystyy tuottamaan kolminkertaisen määrän lämpöenergiaa omaan energian kulutukseensa nähden. (4, s. 18.)

Auringosta maapallolle osuvan säteilyn määrä on noin 20 000 kertaa teollisuuden ja lämmityksen nykyhetkellä tarvitsema teho. Ilmakehän ulkopuolella olevalle yhden neliömetrin kokoiselle alueelle osuva auringonsäteilyn teho on 1,35–1,39 kW. Auringon ja maan etäisyysvaihteluiden vuoksi tämä arvo vaihtelee $\pm 3,5$ prosenttia. Ilmakehä alentaa arvon noin 60 prosenttiin alkuperäisestä, noin 0,8 kW:iin. Aurinkoenergiaa pidetään yhtenä mahdollisena ratkaisuna globaalin energiantarpeen tuottamiseen, ja EU:n tavoite on kymmenkertaistaa jäsenmaiden aurinkoenergian käyttö vuoteen 2020 mennessä.

(6, s. 10–11; 3, s. 97.)

Aurinkoenergia voidaan luokitella aktiiviseen ja passiiviseen hyödyntämiseen. Passiivinen aurinkoenergia tarkoittaa sen hyödyntämistä ilman erillisiä lisälaitteita ja lisäinvestointeja ei välttämättä tarvita. Rakennuksen suunnitteluvaiheessa huomioidaan sijoitus, ilman-suunnat, muodot, rakenteet ja ikkunat. Aktiivisessa hyödyntämisessä on kyse auringonsäteilyn muuttamisesta energiaksi, aurinkopaneeleiden avulla sähköksi tai lämmöksi aurinkokeräimillä. Keräimet voidaan jakaa kahteen tyyppiin: neste- ja ilmakiertosiin. Nestekiertoiset keräimet jakautuvat edelleen kahteen päätyyppiin: taso- ja tyhjiöputkikeräimiin.

(5, s. 347; 6, s. 72–73; 21)

Työni käsittelee poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkolämmityksen toimintaa. Tutkimustehtäväni on vertailla näitä lämmitysmuotoja yhdistettynä kaukolämpöön kerrostalokiinteistöissä. Kuinka paljon järjestelmät parantavat energiatehokkuutta? Mikä on niiden takaisinmaksuaika? Kumpi on kiinteistönomistajan kannalta taloudellisesti kannattavampaa? Valitsin vertailukohteiksi nämä järjestelmät, koska ne on helposti liitettävissä kaukolämpöön.

Hybridilämmitysmuotojen suosio kasvaa tulevaisuudessa. Suunnitelmallisen kiinteistöjen ylläpidon kannalta tulee pohtia, mitkä niistä ovat kannattavimpia niin taloudellisesti kuin ekologisestikin.

Kiinteistöt, joiden kulutustietoja vertailen, ovat kaksi kiinteistöä, joissa on poistoilmalämpöpumppu, ja kaksi kiinteistöä, joissa on aurinkokeräinjärjestelmä. Kiinteistöt sijaitsevat

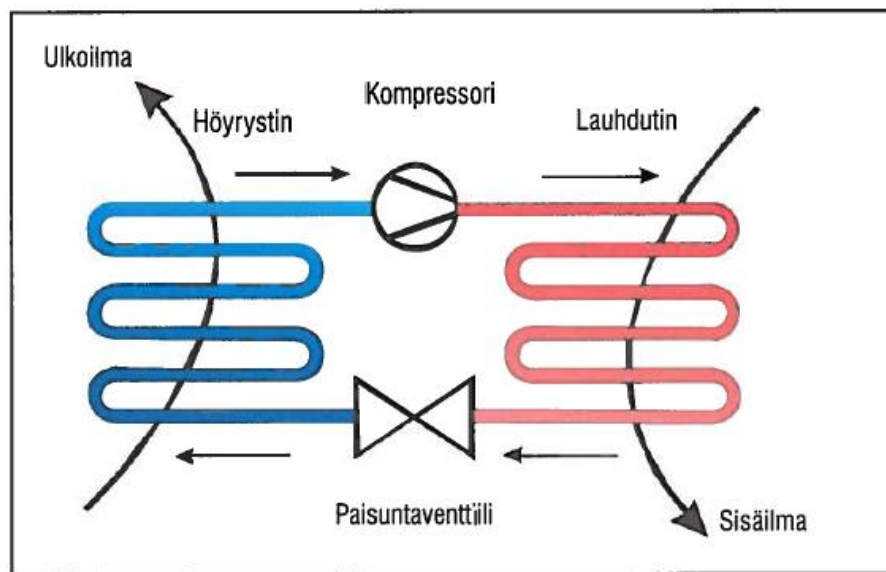
Helsingissä, Tampereella, Espoossa ja Porvoossa. Jokaista kiinteistöä vertaan samassa kaupungissa sijaitsevien kolmeen kerrostalokiinteistön normitettuun kulutusten keskiarvoon. Vertailuaineisto koostuu vuoden 2010 kiinteistöjen omistajalta saaduista kulutustiedoista.

Johdannon jälkeiset luvut 2 ja 3 käsittelevät lämpöpumppujen ja aurinkolämmityksen teoriaa: laitteistoja ja niiden toimintaperiaatteita. Neljäs luku on tutkimuksellinen kannattavuusvertailu.

Tutkimukseni pohjatietona ovat eräältä suurelta kiinteistön omistajalta saadut kiinteistöjen energiankulutustiedot, tiedot on saatu omistajan energiankulutusseurannasta. Kulutustiedoista selviää kiinteistön sähkön- ja kaukolämmönkulutus vertailu vuonna 2010. Laitteistojen hinta tiedot ovat kiinteistön omistajalta saatuja tietoja. Esimerkkikohteista tehtävät laskut pohjautuvat näihin tietoihin, kiinteistöissä ei suoritettu mittauksia. Työssäni ei kiinnitetä huomiota laitteistojen käyttövesi- ja patteriverkostojen kytkentöihin eikä toimintaan, vaan vertailu suoritetaan pohjautuen energiankulutukseen ja laitteistojen tuottamaan energiansäästöön.

2 Lämpöpumput

Lämpöpumpun tehtävä on tuottaa energiaa. Jotta sen käyttöönotto olisi perusteltua, sen tulisi tarjota energiataloudellisia ja kustannuksia säästäviä etuja. Lämpöenergian hyödyntämisen perusedellytys on riittävän lämpötilatason saavuttaminen ja yleensä lämpöpumpun käyttö on sitä taloudellisempaa, mitä vähäisempi lämpötila on. Helpoimmin riittävä taso saavutetaan ilmalämmitykseen (kuva 1), johon riittää 20–40 °C:n lämpötila. Tällainen lämpötila saavutetaan helposti aivan tavallisilla konetyypeillä. Lämpötilan noustessa korkeammaksi haasteeksi muodostuvat tekniset ongelmat ja rajoitukset, kuten kylmäaineen stabiilisuus, korkeapaine korkeissa lämpötiloissa, kompressorin toiminta-alue sekä korrosio. Perusedellytyksiä ovat kuitenkin sopiva lämmönlähde, laitoksen perustamiskustannukset ja sähköenergian riittävän alhainen hinta. (5, s. 380.)



Kuva 1. Ulkoilmalämpöpumpun toimintaperiaate ja osat (4, s. 30).

Lämpöpumpun toiminta (kuva 1) perustuu kylmäaineen kiertoon lauhduttimen ja höyrystimen välillä. Höyrystimessä kylmäaine on alhaisessa paineessa ja lämpötilassa, jolloin siihen sitoutuu lämpöenergiaa: tämä aiheuttaa kylmäaineen höyrystymisen. Höyrystimessä sitoutunut energiamäärä on suurempi kuin sähkötoimisen kompressorin työ. Kylmäaine puristuu kompressorissa korkeampaan paineeseen, ja samalla aineen lämpötila nousee. Kuumentunut kylmäaine ohjataan lauhduttimeen, joka luovuttaa lämpöenergian esimerkiksi

si lämmityskäyttöön. Lämpötilan laskiessa kylmäaine tiivistyy takaisin nesteeksi. Nestemäinen kylmäaine virtaa paisuntaventtiin kautta takaisin höyrystimeen, ja samalla sen paine voimakkaasti alenee muuttuen neste-höyryseokseksi, alimmillaan noin -20 °C :seen. Höyrystimessä kylmäaine alkaa kerätä itseensä uudelleen lämpöä. (4, s. 30.)

Toimiakseen lämpöpumppu tarvitsee sähköä. Pumpun hyötysuhdetta kuvataan lämpökerroimella, joka kertoo, kuinka paljon lämpöenergiaa pumppu tuottaa käyttämällään sähköllä. (9, s. 5.)

$$\text{Lämpökerroin} = \text{tuotettu lämpö (kWh)} / \text{käytetty sähkö (kWh)}$$

Ilmalämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin on noin 2, eli yhdellä kilowattitunnilla sähköenergiaa saadaan 2 kilowattia lämmitysenergiaa. Edullisin käyttötilanne on, kun höyrystyslämpötila on mahdollisimman korkea ja käyttölämpötila mahdollisimman matala, kuten lattialämmityksessä. (9, s. 5.)

2.1 Poistoilmalämpöpumput

Nykyisten rakentamismääräysten mukaan rakennusten sisäilman on vaihdettava vähintään kerran kahdessa tunnissa. Poistoilmalämpöpumpun on tästä ilmasta otettava talteen vähintään 30 prosenttia sen lämpöenergiasta. (8, s. 11.)

Poistoilmalämpöpumppu (PILP) toimii rakennuksen lämpöpumppuna, ilmastointikoneena ja lämminvesivaraajana, joka kerää lämpöä höyrystin- tai liuos patterin avulla rakennuksen jäteilmasta. Lämpöenergia luovutetaan lauhdutin patterilla rakennuksen käyttöveden, lämmitysverkoston tai tuloilman lämmittämiseen. Kesäaikaan tuloilman lämmitykseen ei ole tarvetta. Silloin käyttökohteena on ainoastaan käyttövesi. Poistoilmalämpöpumpulla pystytään tuottamaan noin 40 °C:n lämpöistä vettä, joten se vaatii rinnalleen toisen lämmitysmuodon. Se ei kuitenkaan edellytä täysimittaista lämmitysjärjestelmää, koska poistoilman lämpötila pysyy samana ulkolämpötilasta riippumatta. Poistoilmalämpöpumpun hyvä puoli esimerkiksi maalämpöpumppuun verrattuna on sen kokonaiskustannukset, koska se sisältää myös ilmastointikoneen ja sillä on mahdollista myös jäähdyttää kesäisin. Vuositasolla poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin esimerkiksi suorassa sähkölämmityksessä on noin 1,5–2,2 riippuen valmistajasta ja tyypistä. (4, s. 78; 7, s. 167; 10.)

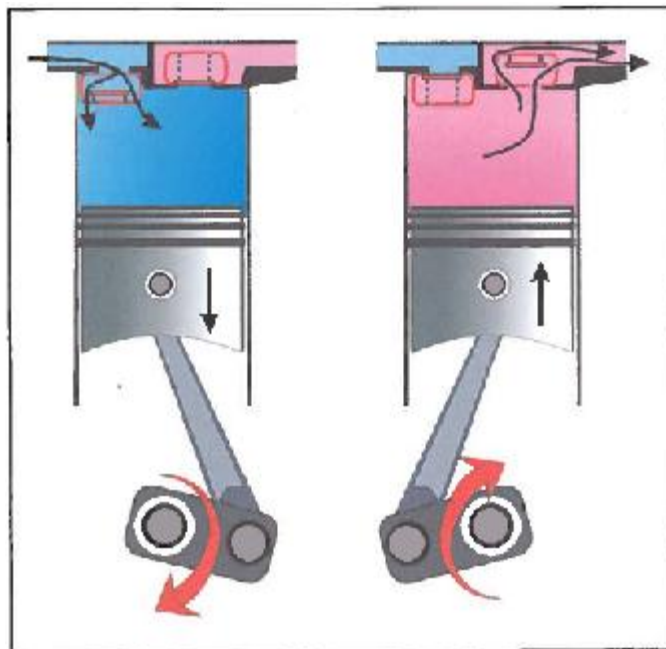
2.2 Lämpöpumppujärjestelmän osat

Lämpöpumput kootaan vakio-osista joita ovat: kompressori, lämmönsiirtimet, putkistot kiertovesipumppuineen ja säätölaitteet. Lämpöpumput edustavat pitkälle kehittyntä tekniikkaa ja laitteet ovat luotettavia sekä tehokkaita. (4, s. 45)

Kompressorit

Kompressorin tehtävä on puristaa kaasuna olevaa kylmäainetta eteenpäin. Yleisimmin lämpöpumpuissa käytetään hermeettisiin mäntä- ja scroll eli kierukka-kompressoreita, joita on mahdollista käyttää jopa 100 kW:iin saakka. Suurilla tehoilla käytetään yleisimmin puolihhermeettisiä mäntäkompressoreita. (4, s. 45.)

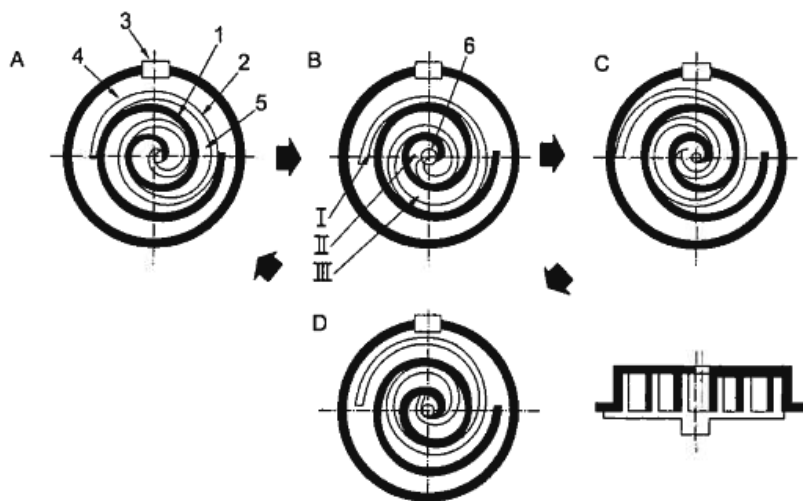
Mäntäkompressori muistuttaa tyypiltään polttomoottoria. Mäntä liikkuu kampiakselin ja kiertokangen liikuttamana sylinterissä, ja kylmäaine virtaa venttiilien ohjaamana sylinteristä. (kuva 2). Mäntäkompressorin yleisin käyttökohde on jäähdytyslaitteissa, jääkaapeissa ja pakastimissa, mutta niitä käytetään myös lämpöpumpuissa. (4, s. 45.)



Kuva 2. Mäntäkompressorin edestakaisin liikkuva mäntä puristaa kylmäaineen korkeampaan paineeseen ja venttiilit ohjaavat kylmäaineen eteenpäin prosessissa (4, s. 45).

Suurta kompressoritehoa vaativissa lämpöpumpuissa käytetään mäntäkompressorin tilalla kehittyneempää kierukkakompressoria, erityisesti puolihermeettisiä malleja. Kierukkakompressorin rakenne on yksinkertainen; siinä ei ole venttiileitä lainkaan, joten se on pitkäikäinen ja luotettava. Lisäksi käyntiäänä on mäntäkompressoria hiljaisempi.

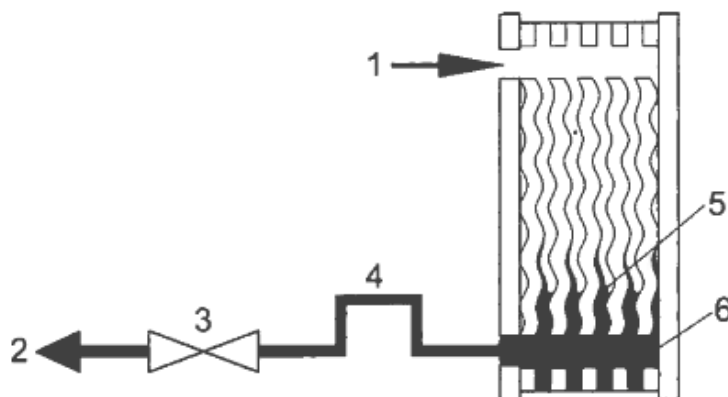
Kierukkakompressorin toiminta (kuva 3) perustuu kahden tiiviisti toisiaan vasten olevan spiraalin muotoisen kierukan liikkeeseen. Toinen kierukoista pysyy paikallaan, ja toinen tekee pientä kiertoliikettä. Kierukat ovat jostain kohdasta koko ajan kosketuksissa toisiinsa, ja niiden väliin jää ulkolaidasta keskustaankin oleva vapaa tila. Kompressorin toiminnan aikana ulkolaidalta imeytyy kylmäainetta, joka siirtyy kohti kompressorin keskustaa. Välitila supistuu reunoilta keskustaa kohti, mikä aiheuttaa paineen nousun ja kylmäaine poistuu kierukan keskellä sijaitsevaa putkea pitkin eteenpäin lauhduttimelle. (4, s. 46–48.)



Kuva 3. Kierukkakompressorin periaate: 1 kiinteä kierukka, 2 liikkuva kierukka, 3 imuportti, 4 imukammio, 5 puristustila, 6 paineportti. I imutila sulkeutuu, II puristustila avautuu, III puristus käynnissä (12, s. 156).

Lauhduttimet

Lauhduttimet ovat yleisimmin tyypiltään levylämmönsiirrinlauhduttimia (kuva 4), koska ne ovat hinta-laatusuhteeltaan hyviä ja niiden tilantarve on pieni. Lämpöpumpun käyttötarkoituksesta riippuen lauhdutin voi olla myös lämmönsiirrin, joka on asennettu lämmitys- tai käyttövesisäiliön sisä- tai ulkopuolelle. Lauhduttimen lisäksi osassa lämpöpumpuista on olemassa ns. tulistuksen poistovahti, jonka avulla lämmin käyttövesi pystytään lämmittämään lauhtumislämpötilaa korkeammaksi. Tavallisimmin lauhduttimen tehoa lisätään puhaltimilla, ilmavirran nopeus on normaalisti noin 3–4 metriä sekunnissa. Puhaltimen teho on noin 15–25 wattia yhtä jäähdytyskilowattia kohden. Lämpöpumppujen lämpökerrointa pystytään myös parantamaan alijäähdyttimellä, jolla esimerkiksi käyttövettä pystytään esilämmittämään. (11, s. 225; 12, s. 207–208.)

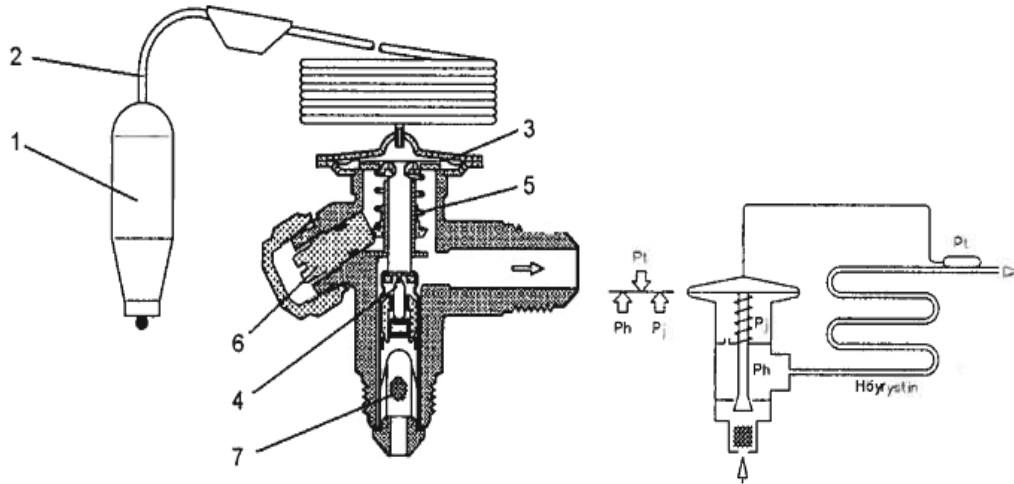


Kuva 4. Lämmönsiirrinlauhdutin: 1 höyry, 2 lauhde, 3 venttiili, 4 mutka lauhteen keräämiseksi, 5 lauhdekalvo, 6 pohjalle kertynyt lauhde (12, s. 207).

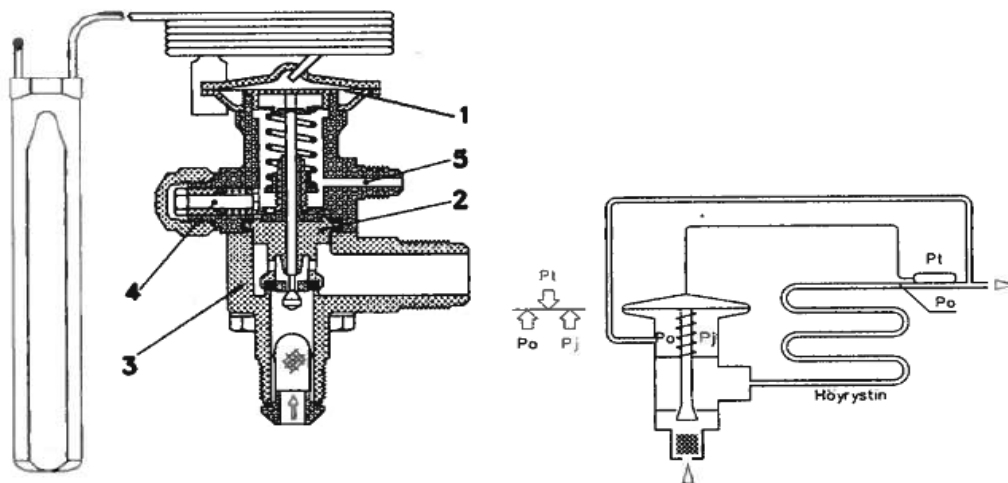
Paisuntaventtiili

Kylmäaineen ruiskutusta höyrystimeen säädetään paisuntaventtiilillä. Mekaaninen termostaattipaisuntaventtiili on yleisimmin käytetty paisuntaventtiili lämpöpumpuissa, koska sen hinta on edullinen (kuvat 5 ja 6). Elektronista paisuntaventtiiliä käytetään suuremmissa ja teollisissa lämpöpumpuissa, koska ne mukautuvat paremmin erilaisiin käyttöolosuhteisiin ja niillä saavutetaan vakaampi tulistus. Termostaattipaisuntaventtiiliä käytettäessä on lämpöpumpua koekäytettävä kaikissa toimintalämpötiloissa luotettavan toiminnan varmistami-

seksi. Vaikka joissakin toimintalämpötiloissa valittu paisuntaventtiili-höyrystinyhdistelmä toimisikin vakaasti, on mahdollista, että järjestelmässä esiintyy huojuntaa, kun käyntiolo-suhteet muuttuvat. (11, s. 225–226; 12, s. 226.)



Kuva 5. Termostaattinen paisuntaventtiili sisäisellä paineentasauksella: 1 lämpötilan tuntoelin, 2 kapilaariputki, 3 kalvo, 4 suutin, 5 jousi, 6 säätöruuvi, 7 suodatin, paine tuntoelimessä (P_t), höyrystin paine (P_h), jousen voimaa vastaava paine (P_j) (12, s. 226).



Kuva 6. Termostaattinen paisuntaventtiili ulkoisella paineentasauksella: 1 kalvo, 2 suutinosi, 3 runko, 4 säätöruuvi, 5 paineentasaus (12, s. 227).

Höyrystin

Yleisimmin käytetty höyrystintyyppi on levylämmönsiirrintyyppinen höyrystin. Miltei kaikki lämpöpumppuvalmistajat käyttävät tällaisia höyrystimiä, koska niiden etuja ovat hyvä hinta-laatusuhde ja pieni tilantarve. Levyhöyrystimet valmistetaan kahdesta alumiinilevystä kylmähitsaamalla, ja kylmäaine kulkee niiden välissä olevassa tilassa. Tällaisen höyrystimen lämmönsiirtokyky on hyvä, koska siinä putki ja ripa ovat yhtenäiset.

(12, s. 192; 11, s. 226.)

Kylmäaineet

Prosessissa käytettävät aineet ovat pääsääntöisesti samoja kuin jäähdytyksessä. Uusimista kylmäaineista on käytössä tällä hetkellä R134a, R404A, R407C, R410A ja propaani, jonka paloherkkyys tuottaa ongelmia. Uusimpana aineena on mukaan tullut myös hiilidioksidi, jolla pystytään tuottamaan esimerkiksi kuumempaa käyttövedettä. Hiilidioksidi on yleistynyt erityisesti pienempitehoisissa käyttövesilämpöpumpuissa. Korkeisiin lämpötiloihin sopivat aineet ovat kuitenkin vielä kehitys- ja testausvaiheessa. (12, s. 352.)

2.3 Poistoilmalämpöpumpun suunnittelu ja mitoitus

Poistoilmalämpöpumpulla otetaan talteen lämpöä rakennuksesta koneellisesti poistettavasta ilmasta. Mikäli rakennuksessa ei ole koneellista tuloilmaa, korvausilma tulee sisään korvausilmaventtiileistä tai mahdollisesti ikkunoiden tiivisteraoista. Korvausilman suunnittelu vaatii huolellisuutta, jotta vältetään mahdollisilta vedon aiheuttamilta ongelmilta.

(18, s. 9–10.)

Poistoilmalämpöpumppu on ainoa tapa ottaa lämpöenergiaa talteen rakennuksesta poistettavasta ilmasta, jos käytettävissä ei ole koneellista tuloilmaa. Talteen saatavaa lämpöenergiaa rajoittaa kuitenkin poistoilman kosteus ja sen mukanaan tuoma höyrystimen huurtumis- ja jäätymisongelma, siksi kerrostalossa ei poistoilmaa jäähdytetä alle 0 °C:seen. Poistoilman lämpöenergia riittää kerrostaloissa käyttöveden lämmitykseen ja tuottamaan osan lämmitysjärjestelmään tarvitsemasta lämmöstä. Lisälämmityksen tarve ei kuitenkaan ole suuri, esimerkiksi jos lämpöpumppu pystyy tuottamaan 50 % suurimmasta lämmöntar-

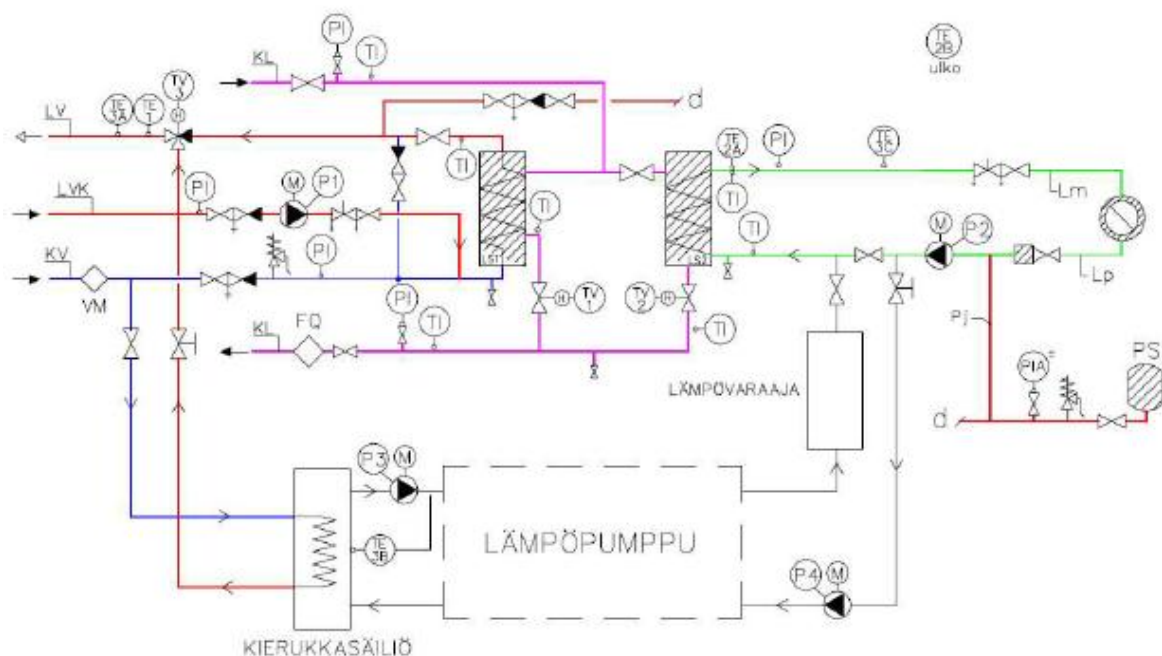
peesta, se kattaa 90 % kaikesta lämmöstä, koska todella kylmää on vain suhteellisen lyhyen jakson ajan vuodessa. (18, s. 9–13; 12, s. 355–357)

Lämpöpumppu vaatii toimiakseen jatkuvan ilmavirran, eli tunnissa noin 0,5 kertaa rakennuksen ilmatilavuus. Pumpun vaatiman jatkuvan ilmavirran vuoksi sitä ei voi pysäyttää poissaolojen ajaksi, jos sitä käytetään rakennuksen lämmittämiseen. Poistoilmalämpöpumpun hyötynä vanhoissa rakennuksissa, joissa ilmanvaihto ei useinkaan toimi kunnolla, on myös sisäilman laadun paraneminen. (18, s. 10–12.)

Poistoilmalämpöpumppua voidaan hyödyntää monella eri tavalla rakennuksen lämmityksessä, käyttöveden tuottamisessa ja tuloilmanlämmityksessä. Lämpöpumpulla on myös mahdollista lämmittää vain pelkkää käyttövettä, jolloin poistoilmaa jäähdytetään vain vähän. Toinen mahdollisuus on lämmitysverkoston lämmöntuotanto ja samalla käyttöveden lämmitys. Kolmantena vaihtoehtona on ilmalämmitys, jonka yhteydessä lämmitetään myös käyttövettä. Poistoilmalämpöpumpun ongelmana on sähkönkulutuksen lisääntyminen. Oman lisähaasteensa tuo vanhempien rakennusten korkeampi mitoituslämpötila. Ongelman aiheuttaa, että lämpöpumpulla pystytään tuottamaan tehokkaasti vain noin (50–65) °C:n lämpöistä vettä. Lämpötilan ollessa kuumempi tarvitaan lisälämmitystä. Laitteisto ei vaadi kuitenkaan rinnalleen täysimittaista lämmitysjärjestelmää, koska poistoilman lämpötila on vakio ulkolämpötilasta riippumatta. (12, s. 356–357; 18, s. 10; 10.)

2.4 Poistoilmalämpöpumpun liittäminen kaukolämpöön

Poistoilmalämpöpumppu voidaan liittää kaukolämpöön hyvin monella eri kytkentätavalla riippuen lämmityskohteesta, kuten kuvista 7–11 voidaan nähdä.

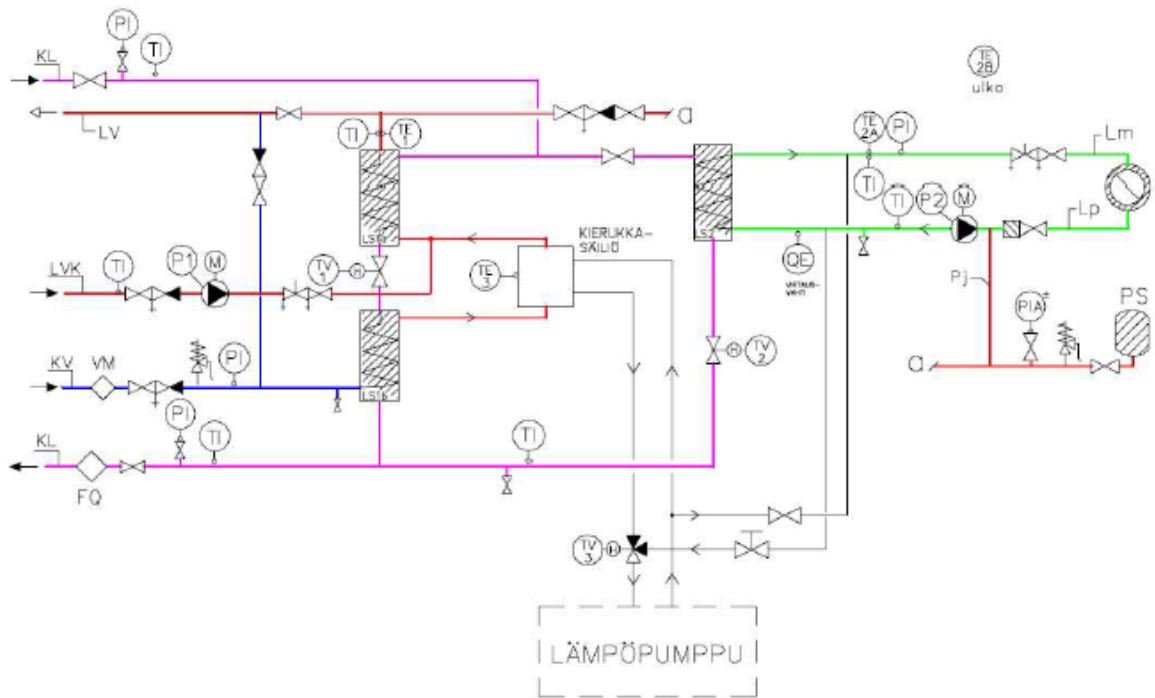


Kuva 7. Kaukolämmön rinnalle kytketty lämpöpumppu ja varaaja, yhdistettynä lämmitykseen ja lämpimään käyttöveteen (20, s. 21).

Lämpöpumppu voidaan kytkeä olemassa olevaan rakennuksen kaukolämmönalajakokeskukseen tämän kytkentämallin mukaan. Lämpöpumppua voidaan ohjata nykyisellä automatiikalla, eikä lisääminen vaadi alajakokeskuksen automatiikan muutostöitä. Lämpöpumppu tuottaa patteriverkostoon lämmintä vettä pyrkien säilyttämään asetusarvon, ja kaukolämmöllä tuotetaan vaadittu lisälämpö. Säätoventtiilit TV1 ja TV3 huolehtivat käyttöveden lämmityksestä. (22, s. 34.)

Lämpöpumpun toiminnan kannalta kytkentätapa on hyvä, koska lämpöerointa voidaan pitää korkeana. Kierukkasäiliössä lämmitetään hetki käyttövetä ja sen lämpötila pidetään tarpeeksi korkeana, jolloin välttyään Legionella-bakteerin riskiltä. Kytkentätavassa ei nostetaan kaukolämpöveden paluulämpötilaa. Kaukolämmön paluuveden lämpötilan nousuvaaraa ei ole, kun lämpöpumpun teho pidetään pienenä verrattuna kokonaistehovaatimuk-

seen. Kytöntätapa suosii lämpöpumppuja, joiden teho on pieni verrattuna kokonaistehon-
tarpeeseen; teho ei saisi ylittää 25 %:a kokonaistehosta. (22, s. 34.)



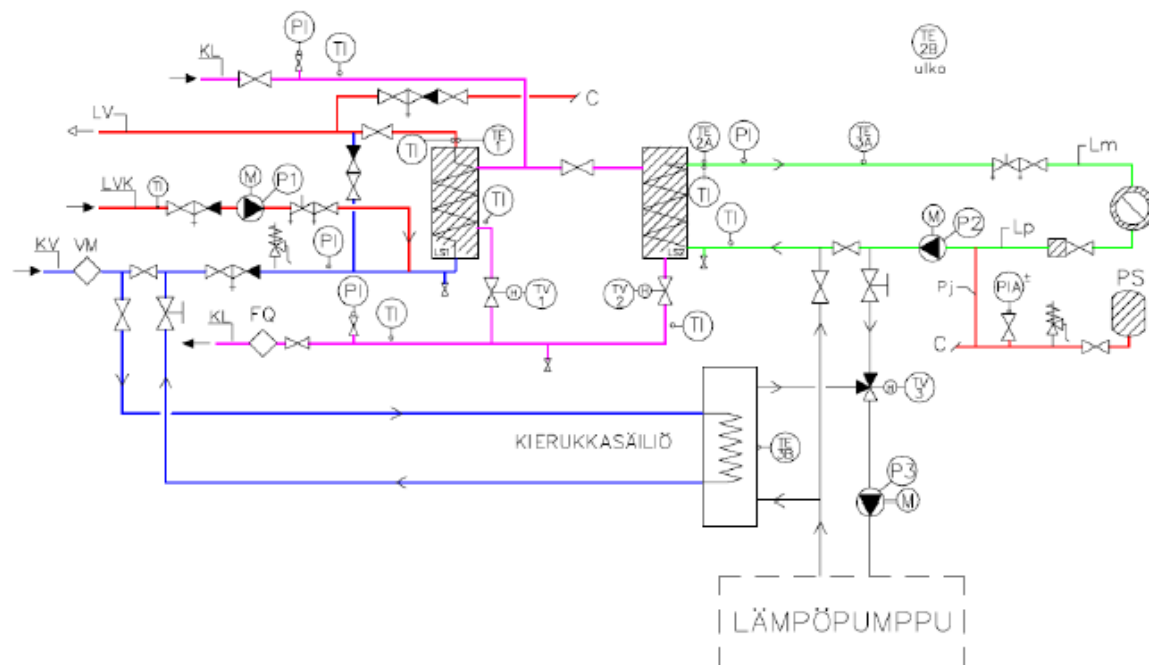
Kuva 8. Kaukolämmön rinnalle kytketty lämpöpumppu ilman varaajaa, yhdistettynä lämmitykseen ja lämpimään käyttöveteen (20, s. 22).

Lämpöpumppu on yhdistettynä patteriverkoston ja lämpimään käyttöveteen. Käyttöveden hetkellinen lämmitys tapahtuu kierukkasäiliössä. Pumppu käynnistyy patteriverkoston menolämpötilan laskiessa alle asetusarvon ja pysähtyy menolämpötilan ylittäessä asetusarvon. Lämpöpumpun käynnistymisen määrää asetusarvon ja menoveden ero, joka normaalisti on 2–8 °C. (22, s. 36.)

Menoveden lämpötilan alittaessa asetusarvon yli 5 °C:lla ja eron säilyessä yli 120 minuuttia TV2 avautuu ja kaukolämpö nostaa patteriverkoston menolämpötilan vaadittuun asetusarvoon. Käyttöveden lämpötilan laskiessa kierukkasäiliössä alle 45 °C:n TV3 avautuu, ja lämpöpumpun virtaus suunnataan käyttöveden lämmitykseen. Lämpötilan noustessa yli 47 °C:n TV3 suuntaa virtauksen patteriverkoston. (22, s. 36.)

Lämpöpumpun kytkentä mahdollistaa yhtä hyvän kaukolämmön jäähtymän kuin tavanomaisesti kytketty kaukolämmön lämmönjakokeskus. Vesitilavuuksien ollessa pieni suosii kytkentätapa lämpöpumppuja, joiden antoteho on pieni. Lämpöpumpulla on hyvät mahdollisuudet toimia, kun sen lämpökerroin saadaan pidettyä korkeana. Käyttöveden hetkellinen lämmitys tapahtuu kierukkasäiliössä, joka on tilavuudeltaan suhteellisen pieni.

(20, s. 23–25.)

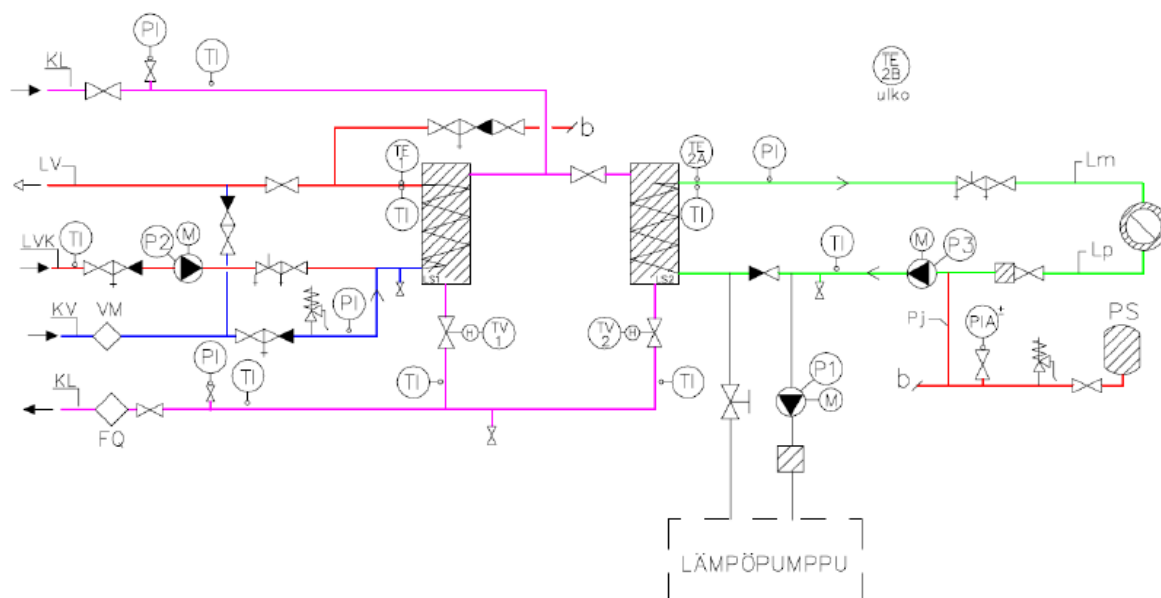


Kuva 9. Kaukolämmön rinnalle kytketty lämpöpumppu ilman varaajaa, yhdistettynä lämmitykseen ja lämpimään käyttöveeseen (20, s. 35).

Lämpöpumppu voidaan kytkeä olemassa olevaan rakennuksen kaukolämmön lämmönjakokeskukseen ja sitä voidaan ohjata nykyisellä rakennusautomaatiikalla. Lämpöpumppu on kytketty patteri- ja käyttövesiverkostoon. Käyttöveden hetkellinen lämmitys tapahtuu kierukkasäiliössä. Säiliön lämpötilan laskiessa alle asetusarvon TV3 ohjaa virtauksen kierukkasäiliöön, lämpötilan saavutettua asetusarvon TV3 ohjaa virtauksen takaisin patteriverkostoon. (20, s. 37.)

Lämpöpumpulla on hyvät edellytykset toimia, kun lämpökerroin pystytään pitämään korkeana. Käyttöveden hetkellinen lämmitys tapahtuu nopeasti kierukkasäiliössä. Kun säiliön vesitilavuus on pieni, Legionella-bakteerin vaara on vähäinen. Kaukolämmön paluueden

lämpötila ei nouse, kun kaukolämmön osuus on pieni. Kaukolämmön paluuveden lämpötilan nousuvaaraa ei ole, kun lämpöpumpun teho pidetään pienenä verrattuna kokonaistehovaatimukseen. Tämä kytkentätapa suosii lämpöpumppuja, joiden teho on pieni verrattuna kokonaistehontarpeeseen. Teho ei saisi ylittää 25 %:a kokonaistehosta. (22, s. 37.)

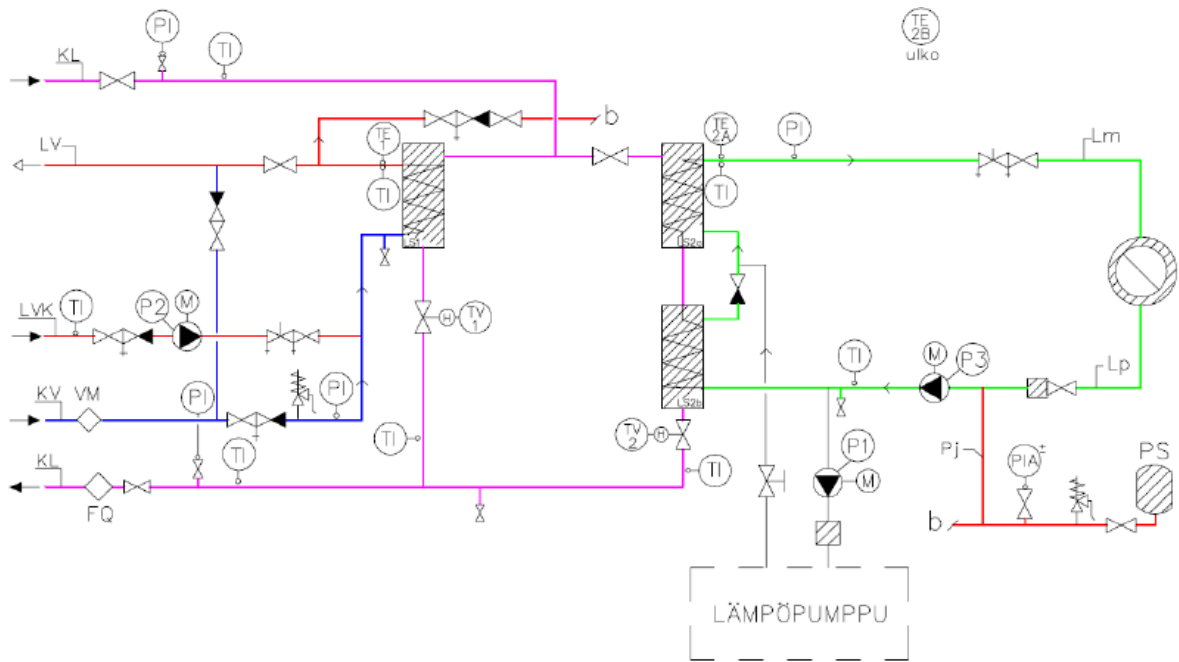


Kuva 10. Lämpöpumppu ilman varaajaa yhdistettynä lämmitykseen (20, s. 27).

Lämpöpumppu on tässä kytkennässä liitetty vain patteriverkoston paluuvesi jälki lämmitetään lämpöpumpun avulla ennen kaukolämmönsiirrintä. Lämpöpumppu käynnistyy, kun patteriverkoston paluuvesi alittaa 5 °C:lla asetusarvon ja pysähtyy sen ylittäessä 5 °C:lla asetusarvon. Kun menoveden lämpötilan alittaa asetusarvon yli 5 °C:lla ja eron säilyy yli 120 minuuttia, TV2 avautuu ja kaukolämpö nostaa patteriverkoston menoveden lämpötilan asetusarvoon. Patteriverkostonpumppu P3 on aina päällä, ja pumppu P1 on lämpöpumpun käydessä päällä. (20, s. 38.)

Kaukolämmön paluuveden lämpötila ei nouse, kun kaukolämmön osuus on pieni. Kaukolämmön paluuveden lämpötilan nousuvaaraa ei ole, kun lämpöpumpun teho pidetään pieninä verrattuna kokonaistehovaatimukseen. KytKentätapa suosii lämpöpumppuja, joiden teho on pieni verrattuna kokonaistehontarpeeseen. Teho ei saisi ylittää 25 %:a kokonaistehosta.

KytKentätapa on tavallinen, kun lämpöpumppu on kytketty ainoastaan patteriverkoston.
(20, s. 38.)



Kuva 11. Lämpöpumppu ilman varaajaa yhdistettynä lämmitykseen (20, s. 28).

Lämpöpumppu on kytketty vain patteriverkoston. Lämpöpumppu ottaa osan patteriverkoston paluuedestä ja palauttaa sen oikean lämpöisenä jälkilämmönsiirtimeen, veden virtaussuunta ohjataan oikeaksi yksisuunta venttiilillä. Lämpöpumppu käynnistyy, kun patteriverkoston paluuvesi alittaa 5 °C:lla asetusarvon ja pysähtyy sen ylittäessä 5 °C:lla asetusarvon ja eron säilyy yli 120 minuuttia, TV2 avautuu ja kaukolämpö nostaa patteriverkoston menoveden lämpötilan asetusarvoon. (20, s. 39.)

Lämpöpumpun toiminta on helposti ohjattavissa, koska se on kytketty ainoastaan patteriverkoston. Vesivirtojen ollessa tässä kytkentätavassa pienet kytkentätapa suosii lämpöpumppuja, joiden teho on pieni. Tämä kytkentä mahdollistaa yhtä hyvän kaukolämmön jäähtymän kuin tavanomaisesti kytketty kaukolämmön alajakokeskus. (20, s. 39.)

3 Aurinkolämmitys

Aurinkolämmitys jakautuu passiiviseen ja aktiiviseen aurinkoenergian hyödyntämiseen. Kummankin tekniikan perusajatus on auringonsäteilyn hyödyntäminen lämmityksessä. (5, s. 335.)

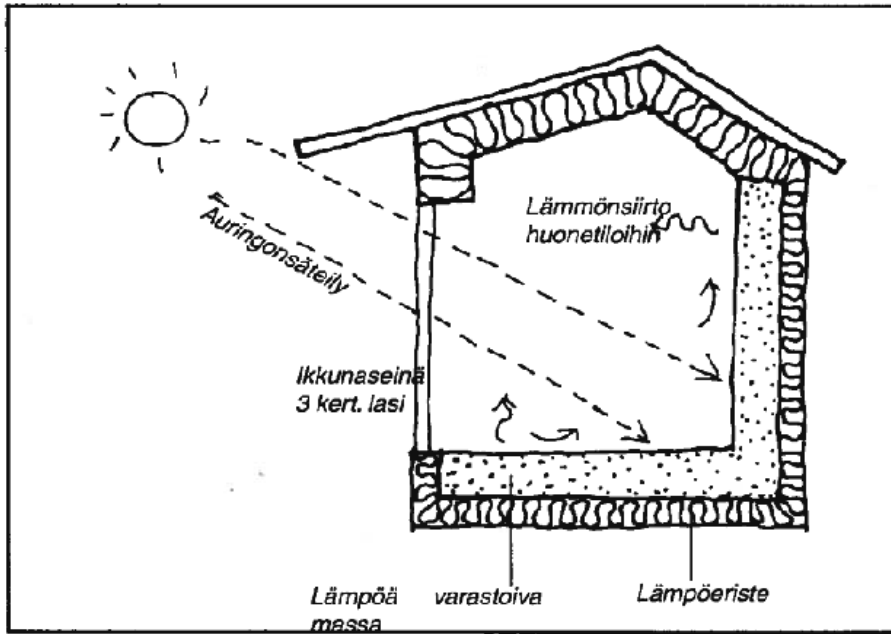
Passiivisessa tekniikassa auringonsäteilyn lämpövaikutus hyödynnetään rakennustekniikan avulla. Esimerkiksi ikkunat suunnataan niin, että ne vähentävät rakennuksen muun lämmitysenergian käyttöä. (5, s. 335.)

Aktiivisessa aurinkolämmityksessä säteily pyritään ottamaan talteen erityisillä laitteilla, joista tavallisimpia ovat aurinkokeräimet. Suurimpana ongelmana Suomen ilmastossa on aurinkoenergian saatavuuden rajallisuus ja ennakoimattomuus. Lämmitysenergiaa kuluu silloin kaikkein eniten, kun auringonpaistetta on kaikkein vähiten. Aurinkokeräinten käyttöä rajoittaa myös ilmastomme matala ulkolämpötila, joka lisää aurinkokeräinten lämpöhäviöiden kasvua ja pienentää niistä saatavaa tehoa. Aurinkolämpöä pyritään keräämään ja varastoimaan silloin, kun sitä on saatavilla, ja varastoa puretaan sen mukaan, kun lämmityksessä tarvitaan energiaa. Yleensä varastointiaika ei ole kovin pitkä: korkeintaan joitakin päiviä. Aurinkolämmitys ei sovellu rakennuksen ainoaksi lämmitysjärjestelmäksi, vaan se vaatii rinnalleen aina jonkin toisen järjestelmän. Rinnakkaisjärjestelmä joudutaan mitoittamaan kuitenkin kattamaan koko lämmitysteho. (6, s. 59; 5, s. 335.)

3.1 Passiivinen aurinkolämmitys

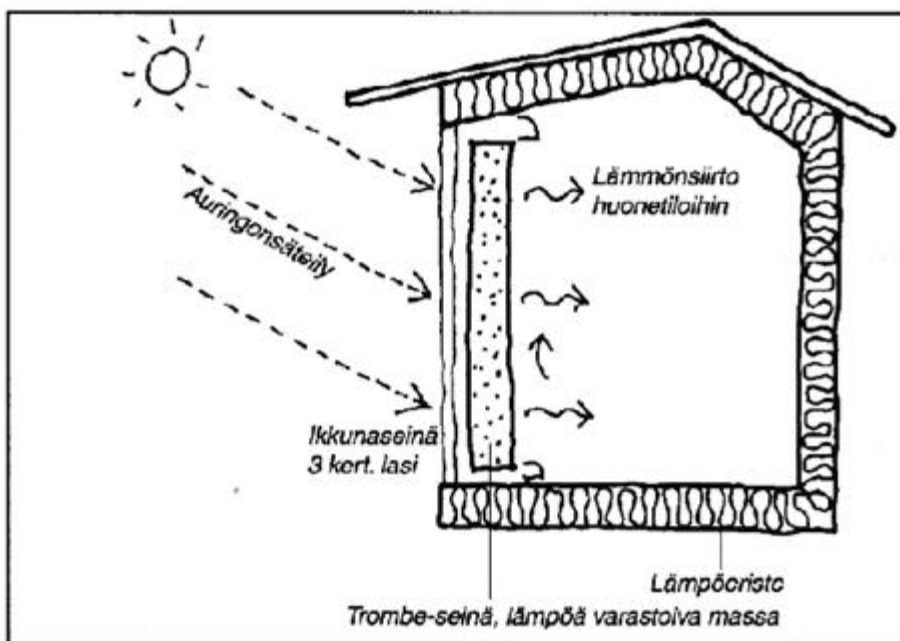
Passiivisessa aurinkolämmityksessä auringon energia kulkeutuu ilman mekaanista apua aurinkokeräimestä varastoon ja sieltä tiloihin, joissa lämmitystä tarvitaan. Passiivinen aurinkolämmitys voidaan jakaa kahteen ryhmään: suoraan ja epäsuoraan hyödyntämiseen. (6, s. 58.)

Suora hyödyntäminen (kuva 12) vaatii isoja ikkunapinta-aloja eteläjulkisivuissa, noin 40–60 prosenttia julkisivusta. Huonejärjestyksen tulisi olla sellainen, että eniten lämpöenergiaa vaativat tilat sijaitsevat heti ikkunan takana. Kesällä suuret ikkunapinta-alat voivat aiheuttaa huoneiston ylikämpenemistä, mitä voidaan estää verhoilla ja kaihtimilla. (6, s. 59.)



Kuva 12. Suora aurinkoenergian hyödyntäminen (6, s. 58).

Epäsuora hyödyntäminen (kuva 13) vaatii isoja ikkunoita suunnattuna etelään ja varastoi-vaa massaa heti ikkunan takana. Kerätty energia varastoituu seiniin ja lattioihin. Massojen tulisi pystyä varastoimaan lämpöenergiaa vähintään vuorokaudeksi, joista se luovuttaa sitä niitä tarvitseviin tiloihin. Ratkaisua kutsutaan keksijänsä mukaan Trombe-seinäksi. Seinä-materiaalina voidaan käyttää betonia, tiiltä, luonnonkiveä tai erilaisia materiaali yhdistel-miä. Trombe-seinä voi luovuttaa lämpöä joko nopeasti, tai siinä voi olla jopa 12 tunnin viive. (6, s. 60.)



Kuva 13. Aurinkoenergian epäsuora hyödyntäminen (6, s. 60).

Passiivinenkin aurinkokeräys tarvitsee avukseen säätöjärjestelmän, jonka avulla kerätyn energian kulkua pystytään hallitsemaan. Niitä ovat kaihtimet, verhot, luukut, liukuovet ja seinät. (6, s. 57.)

3.2 Aktiivinen aurinkolämmitys

Aktiivisessa aurinkolämmityksessä lämpö kerätään talteen sitä varten valmistetuilla laitteilla, joista tavallisimpia ovat erilaiset aurinkokeräimet. Keräinten tehtävä on muuttaa auringonsäteily lämmöksi ja kuljettaa se ilman tai veden välityksellä varastoon tai suoraan käyttökohteeseen. (5, s. 336.)

Keräimet voivat olla keskittäviä tai tasokeräimiä. Keskittävillä keräimillä pyritään korkeampiin lämpötiloihin, jopa höyryn tuottamiseen. Keskittävät keräimet edellyttävät toimiakseen voimakasta suoraa auringonsäteilyä, eivätkä ne pysty hyödyntämään hajasäteilyä, jonka osuus Suomessa on suuri. Tasokeräimillä voidaan hyödyntää hajasäteilyä, mutta niillä tuotettu lämpötila on vähäisempi kuin keskittävillä keräimillä. Niiden hyödyntäminen on Suomen olosuhteissa on kuitenkin kannattavaa. Koska tuotetun energian lämpötilataso on

matala, sitä voidaan hyödyntää paremmin lämmitysjärjestelmissä, joiden vaatima lämpötilataso on myös matala, kuten lattia- ja ilmalämmityksissä. (5, s. 336; 6, s. 72.)

Aurinkokeräinjärjestelmän osat ovat keräin, varaaja, lämmönsiirtimet, pumppu ja ohjausyksikkö. Keräimessä kiertävä jäätymätön neste lämpenee auringon säteilystä, ja se johdetaan pumppaamalla varaajaan. Varaajasta lämpöenergia siirretään käyttökohteisiin, kuten lämpimään käyttöveteen tai lämmityspiiriin. (7, s. 170–172)

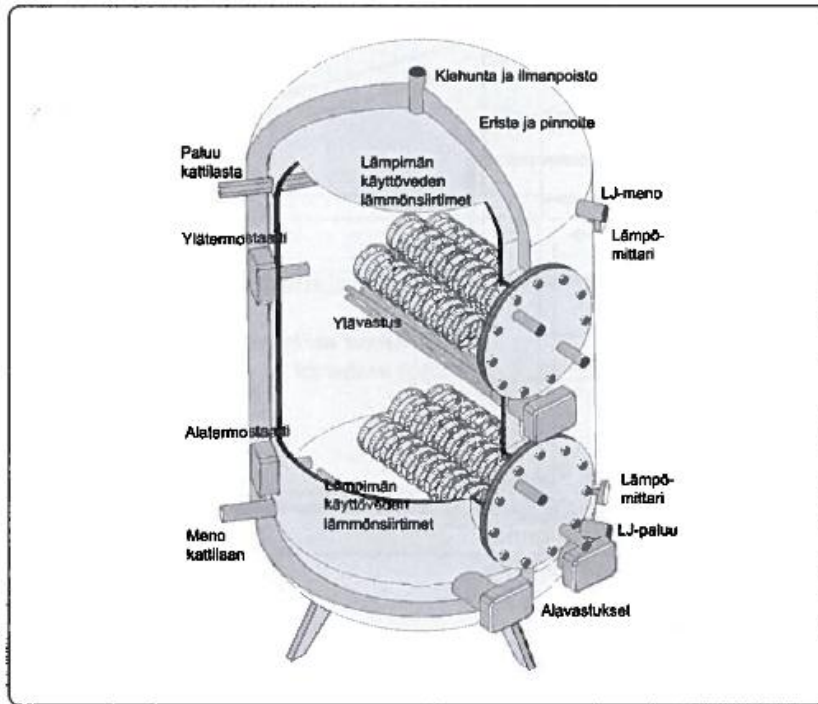
3.3 Lämmönvarastointi varaajaan

Aurinkoisena päivänä kerätystä energiasta pystytään käyttämään vain osa ja loput varastoidaan käytettäväksi aikana, jolloin aurinko ei paista. Suomen olosuhteissa varastointi näyttelee suurta osaa, koska sää vaihtelee vuodenaikojen, lämpötilan ja pilvisyyden vuoksi suuresti. Energian varastointi onkin olennainen osa aurinkolämpöjärjestelmää ja sen hyödyntämistä. Lämpöä varastoidaan tavallisesti muutama vuorokausi tasaamaan vuorokautisia ja lämpötiloista aiheutuvia lämmönvaihteluita. Yleensä varastointiin riittää yksi varaaja, joka nykyään on tyypiltään niin sanottu akkuvaraaja, johon lämpöenergia siirretään vesiglykoliseoksella täytetyn kierukan avulla. Energia varastoidaan väliaineeseen, joka neste-kiertoisissa järjestelmissä on yleensä vesi. Vesi on varastointiaineena hyvä edullisuutensa ja helpon käsiteltävyyden vuoksi. Haittana on pienten lämpötilaerojen vuoksi varaston suuri koko, jolloin varaajasta tulee suuri. (13, s. 244; 6, s. 108; 14.)

Varaajassa veden kierto pyritään järjestämään siten, että veden lämpötila varaajassa kerrostuisi eikä sekoittuisi. Varaajan sisällä vesi kerrostuu siten, että yläosassa on lämmin ja alhaalla kylmävesi. Metrin korkeuserolla voi lämpötilaero olla useita kymmeniä asteita. Veden kerrostuminen johtuu veden laajentumisesta lämmitessä, jolloin sen ominaispaino pienenee. Varaajan ollessa kapea ja korkea on lämpötilojen kerrostuminen tehokkaampaa. (7, s. 171; 6, s. 110; 17, s. 52.)

Suomessa käytetyt varaajat ovat yleensä tyypiltään yhdistelmävaraajia (kuva 15), joilla pystytään tuottamaan sekä kuumaa käyttövettä sekä lämmittämään rakennuksen sisätiloja. Aurinkokeräimen kytkeminen yhdistelmävaraajaan auttaa myös lämpötilan kerrostumista varaajaan, joka lisää varaajan käyttötunteja. Keräimen liittäminen pelkkään käyttö-

vesivaraajaan johtaa helposti järjestelmän hyötysuhteen laskuun, koska keräimen toimintalämpötila on suurimman osan ajasta yli käyttöveden lämpötilatason. (6, s. 110.)



Kuva 14. Energiavaraaja (7, s. 171).

Varaajan lämpötilakerrostumisessa voidaan käyttää useita erilaisia menetelmiä. Tavallisin ratkaisu on asettaa aurinkolämpöpiirin lämmönsiirrin varaajan alaosaan. Keskivaiheille asetetaan kuuman käyttöveden esilämmityskierukka ja yläosaan jälkilämmityskierukka. Lämmityspiiri voidaan kytkeä siten, että lähtöliitäntä on varaajan keski- ja yläosassa. Automaattikka ohjaa käyttämään tarpeesta riippuen ylä- tai keskiosan liitäntää varaajan lämpötilakerrostumasta ja lämmitystarpeesta riippuen. Lämmityspiirin paluuputki tulee aina varaajan alaosaan. Matalalämpöjärjestelmissä kuten lattialämmityksessä tämä kytkentä varmistaa sen, että varaajan alaossa on aina tarpeeksi viileää vettä. Kehittyneemmissä varaajissa käytetään pystysuoria lämmönsiirtimiä tai siirtimien ympärille rakennettuja virtausohjaimia. Ohjaimet ovat yleensä putkia, joissa on aukkoja eri korkeuksilla. Aurinkokeräimen lämmönvaihtimen ympärillä oleva varaajan vesi nousee putkessa sille korkeudelle, jossa varaajan vesi on yhtä lämmintä. Kuuman käyttöveden lämmönvaihtimen ympärillä jäähtynyt vesi laskee varaajassa samanlämpöisen veden tasolle. (Kuva 14.) Käytettäessä varaajan

ulkopuolista lämmönsiirrintä voidaan siirtimestä tuleva vesi johtaa eri korkeuksille varaajaan riippuen sen lämpötilasta. (6, s. 110–111.)

Hyvällä eristämällä voidaan varaajan lämpöhäviöitä pienentää, myös putkien eristämiseen tulee kiinnittää huomiota. Eräissä varaajissa kaikki varaajan liitosputket on sijoitettu sen alapuolelle, jolloin varaajan eristeissä ei ole läpivientejä. Liitosputkien asentamisella laskeviksi varaajaan nähden varmistetaan, että pumpun ollessa pysähtyneenä ei jäähtymisen aiheuttamaa kiertoa ja lämpöhäviötä tapahdu. (6, s. 111.)

Aurinkolämpöpiirin lämmönsiirtonesteen tulee olla myrkytöntä, mikäli lämmönsiirrin on suorassa yhteydessä käyttöveteen, jotta mahdollisessa vuototilanteessa ei aiheudu vaaraa käyttäjille. Varaajan käyttölämpötila tulee pitää myös riittävän korkeana: yli 55 °C. Matalammissa lämpötiloissa putkistoissa kasvaa Legionella-bakteeri, joka aiheuttaa keuhko-kuumetta. (6, s. 111.)

3.4 Aurinkokeräimet

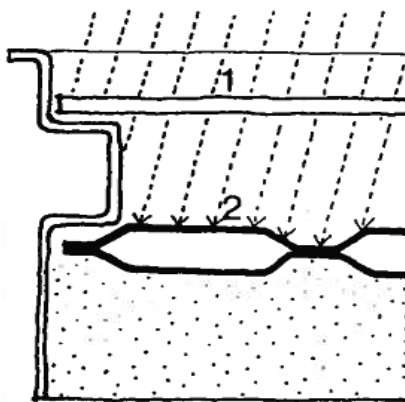
Aurinkokeräimet vastaanottavat ja keräävät auringonsäteilyä ja muuttavat sen lämmöksi, joka voidaan kuljettaa nesteen tai ilman välityksellä lämpövarastoon tai suoraan käyttökohteeseen. Keräimiä on olemassa ilma- ja nestekiertoisia. Nestekiertoiset voidaan jakaa edelleen taso- ja tyhjiöputkikeräimiin. Yleisin keräinmalli on nestekiertoinen tasokeräin, jossa kierrätetään pumpun avulla vesi-glykoliseosta. Tyhjiöputkikeräimiä on olemassa vielä kahta alatyyppeä. Tyhjiöputkikeräimet ovat tasokeräimiä tehokkaampia, koska ne pystyvät hyödyntämään auringon hajasäteilyä tehokkaammin. (6, s. 72–73.)

Tasokeräimet

Auringonsäteilyä lämmöksi muuttavat keräimet voidaan jakaa katettuihin ja kattamattomiin keräimiin, jotka keräävät säteilyä tumman keräinelementin avulla. Keräinelementin pinta absorboi eli muuttaa siihen osuvan valosäteilyn lämpösäteilyksi. Keräimet ovat yleensä metallisia, mutta myös lämpöä kestäviä muoveja käytetään. Elementin toimintavaatimuksia ovat hyvät absorbointi- ja lämmönsiirto-ominaisuudet. Selektiivipinnalla pystytään parantamaan keräimen absorbointia ja hyötysuhdetta, koska se toimii eräänlaisena valoloukkuna. Tyypillisesti pinnat ovat elektrolyytisesti valmistettuja mustakromi- ja mustanikkelipinnoitteita ja erilaisia tyhjiötekniikalla valmistettuja pinnoitteita. Materiaalien lisäksi myös pinnanmuodot, lämmönsiirtotavat sekä elementtien koot vaihtelevat.

(15; 6, s. 73–75.)

Keräimiksi kannattaa valita tyhjiöputkikeräimet, jos keräimiä käytetään vain kuumen käyttöveden tuottamiseen. Tyhjiöputkikeräimen hyötysuhde on korkeammilla lämpötilatasoilla parempi kuin tasokeräimien (kuva 15). (6, s. 110.)

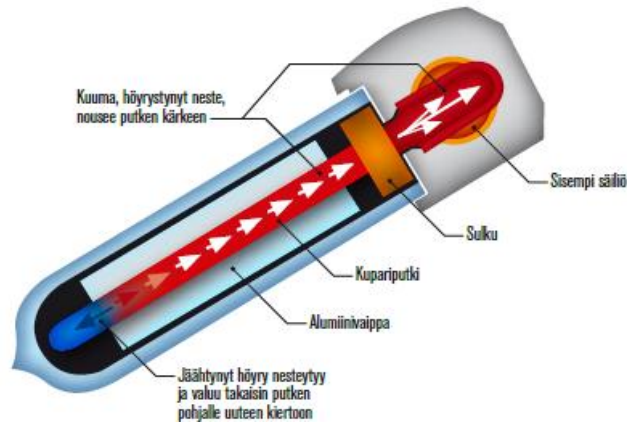


Kuva 15. Aurinkoenergian kerääminen tasokeräimellä, 1 kate, 2 keräinelementti (6, s. 73).

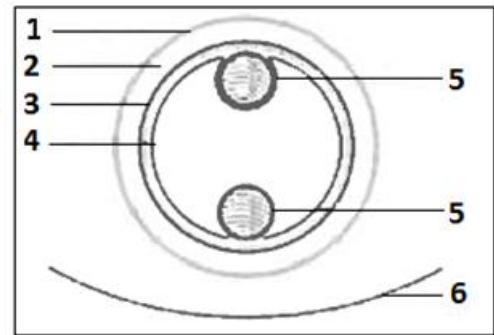
Tyhjiöputkikeräimet

Tyhjiöputkikeräimiä on kahta tyyppiä: heatpipe-lämpöputkia (kuva 16) ja tyhjiöputkia (kuva 17), joissa lämmönsiirtoneste kiertää u-muotoisessa putkessa absorboivan mustan pinnan alla. Heatpipe-typissä neste höyrystyy suhteellisen matalassa lämpötilassa ja kuljettaa sitomansa lämmön lämmönsiirtimeen. Tyhjiöputkia on mahdollista käyttää myös keskittävissä keräimissä, joissa absorbointipintaan kohdistuvaa säteilyä lisätään heijastavilla koverilla pinoilla. (6, s. 73.)

Tasokeräimet ovat tällä hetkellä yleisin keräintyyppi, mutta tyhjiöputkikeräinten osuus kasvaa vähitellen. Myös näiden kahden tyypin yhdistelmiä on käytössä. Tyhjiöputkikeräin eroaa tasokeräimistä kahdelta osin. Se on putkimainen, ja tasokeräin on levymäinen. Tyhjiöputki toimii myös lämmöneristeenä ja estää absorboitua lämpöä karkaamasta takaisin ulkoilmaan. Siten suurempi osa lämmöstä jää keräimeen. Tämän vuoksi tyhjiöputkikeräimien lämmöntuotanto on talvella parempi kuin tasokeräimien. Kesäisin keräimillä ei juurikaan ole eroja. Pyrittäessä korkeisiin lämpötiloihin konvektion määrä lisääntyy varsinkin tasokeräimillä. Tyhjiöputkikeräimissä konvektion määrä on pienempi, koska tyhjiöputkesta on ilma poistettu. Tyhjiöputkitekniikasta on hyötyä varsinkin kevättalvella ja syksyllä, jolloin energiantarve on suurempaa, mutta säteily vähäisempää. Tyhjiöputkella voidaan saada tuotetuksi noin 30 prosenttia enemmän lämpöenergiaa neliöä kohden kuin tasokeräimillä. Etelä-Suomen olosuhteissa tyhjiöputkikeräimillä saadaan lämpöä jo helmikuusta aina marraskuuhun asti. (16; 6, s. 73–81.)



Kuva 16. Tyhjiöputkikeräin, jossa heatpipe-lämpöputki (23).



Kuva 17. Tyhjiöputken läpileikkaus

- 1 ulkolasi
 - 2 tyhjiö
 - 3 absorbaattori
 - 4 sisälasiseinä
 - 5 u-muotoinen kupariputki
 - 6 parabolinen peili
- (6, s. 72).

Aurinkokeräinten sijoittaminen

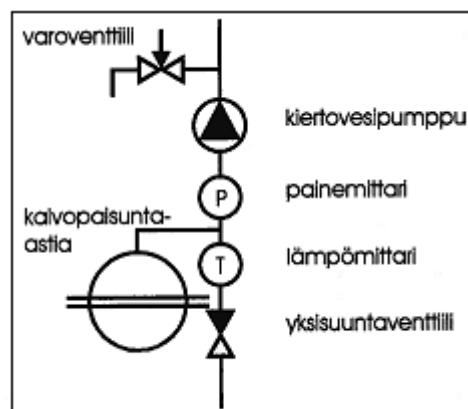
Aurinkokeräinten toiminnan kannalta tärkeintä on, että aurinko pääsee esteettömästi paistamaan keräimeen koko päivän. Keräimiä ei siis tule sijoittaa varjoisaan paikkaan. Käytännössä yleensä riittää, että keräimet sijoitetaan rakennuksen katolle tai avoimella tontilla rakennuksen seinustalle. Sijoituspaikan valintaan vaikuttaa myös se, kuinka kaukana keräimistä varaja sijaitsee. Termisten keräinten sijoituspaikkaa valittaessa kannattaa muistaa, että ne toimivat sitä paremmin, mitä tuulettomampi sijoituspaikka on. (6, s. 83.)

Maan pyörimisestä johtuva auringon näennäinen kulkeminen taivaan poikki, yhdistettynä ratatason ja maan akselin kallistuskulmaan aiheuttaa sen, että auringon korkeuskulma muuttuu päivittäin. Talvella auringon korkeuskulma Etelä-Suomessa leveyspiirillä 60 on noin seitsemän astetta ja kesäisin 53 astetta. (6, s. 83.)

Keräinten suuntauksessa on kaksi muuttujaa: suuntaus- ja kallistuskulma. Paras asennussuunta on Suomessa etelään. Kallistuskulman valintaan vaikuttaa se, mitä asioita halutaan keräimen toiminnassa erityisesti painottaa ja mitkä ovat ympäristön ominaisuudet. Jos halutaan painottaa ympärivuotista tuotantoa, on kallistuskulma noin 45 astetta, kesätuotannossa loivempi ja talvituotannossa on jyrkempi, noin 60 astetta. Asennuskulmaa mietittäessä kannattaa myös huomioida, miten talviolosuhteissa keräimiin kertyy lunta ja kuinka sen poistaminen onnistuu. Tällä tavalla varmistetaan myös säteilyn vastaanotto talvella. Käytännössä on usein päädytty talon katon suuntaisiin asennuksiin. Poikkeuksen tekevät hyvin loivat katot, jolloin asennus on helpompaa ja edullisempaa. (6, s. 83; 17, s. 24.)

3.5 Pumppuyksikkö

Pumppuyksikön tehtävä on aikaansaada aurinkolämpöjärjestelmässä sopiva virtaus (kuva 18). Se myös pitää järjestelmän paineen suunnitellulla tasolla eri käyttöolosuhteissa. Yksikkö sijoitetaan järjestelmässä lämmönvaihtimen jälkeen eli ns. järjestelmän viileämmälle puolelle kierrättämään nestettä kohti keräimiä. Pumppu sijoitetaan viileämmälle puolelle, jotta vältettäisiin kuplien muodostuminen lämmönsiirtonesteessä ja pumppu kestäisi käytössä pidempään. Pumpun valintaan pätevät samat kriteerit kuin tavallisen kiertovesipumpunkin valinnassa. Valintaa varten on tiedettävä järjestelmän tilavuusvirta ja painehäviö. Lisäksi on varmistettava, että valittu pumppu kestää käytettävän kiertonesteen ja lämpötilan. (17, s. 43–44.)



Kuva 18. Aurinkolämpöjärjestelmän pumppuyksikkö (17, s. 43).

3.6 Säädin

Aurinkolämpöjärjestelmässä säätimen tehtävä on ohjata pumppua käymään vain silloin kun keräinten lämpötila on korkeampi kuin varaajan. Näin keräimet eivät viilennä varaajassa olevaa nestettä. (17, s. 46.)

Säätimeen kuuluvat keskusyksikön lisäksi vähintään keräin- ja varaaja-anturit. Lisäksi antureita voidaan sijoittaa siirtoputkistoon. Keräinanturin sijoituspaikat tulee varmistaa, jotta pumppu käynnistyy mahdollisimman nopeasti nesteen saavuttaessa vaaditun lämpötilan. Varaaja-anturi sijoitetaan lämmönvaihtimen korkeudelle varaajassa. Lisäantureita voidaan asentaa lisäksi sellaisiin kohtiin järjestelmässä, josta halutaan lisäinformaatiota. Tavallisin lisäanturit sijaitsevat keräimen paluuputkessa ja varaajan yläosassa, ne toimivat vikadiagnostiikka- ja sähkövastuksen antureina. (17, s. 46.)

3.7 Lämmönsiirrin

Lämmönsiirtimen välityksellä keräinten tuottama lämpö siirretään varaajaan hyötykäyttöön. Lämmönsiirtimen teho vaikuttaa koko järjestelmän hyötysuhteeseen. Tehoton lämmönsiirrin päästää kiertonesteen liian lämpimänä takaisin keräimille ja järjestelmän hyötysuhde pienenee. (17, s. 49.)

Lämmönsiirtimiä on olemassa kahta tyyppiä: varaajan sisäisiä kampakierukkasiirtimiä tai ulkoisia levylämmönsiirrintyyppisiä siirtimiä. Kampakierukka on ylivoimainen lämmönsiirto ominaisuuksiltaan verrattuna tavalliseen sileään kupariin. Kampakierukkasiirtimen ulkopuolella vesi liikkuu vain lämmön vaikutuksesta, ja sen sisäpuolella nesteen nopea liike saa aikaan tehokkaan lämmön siirtymisen. Kierukan korrugoitu pinta aiheuttaa turbulentsuutta. Vakiomalliset kierukat on helppo asentaa ja tarvittaessa vaihtaa uusiin. Ulkoisella levylämmönsiirtimellä päästään myös tehokkaaseen lopputulokseen, koska siirtimen molemmat virtaukset tuotetaan pumpuilla. Ulkoinen levylämmönsiirrin mahdollistaa myös varaajan lämpötilojen kerrostuneisuuden hallinnan. Levylämmönsiirtimiä on olemassa kahta mallia: kokoonjuotettuja ja purettavia. Kokoonjuotetut ovat hinnaltaan edullisempia, mutta purettavat voidaan tarvittaessa huoltaa ja puhdistaa myös sisältä. (17, s. 49–51.)

3.8 Aurinkolämmityksen suunnittelu ja mitoitus

Aurinkolämmitysjärjestelmän tarkka mitoittaminen perustuu energiankulutustietoihin tai arvioihin. Tuntemalla pitkäaikaiset säätilastot voidaan arvioida tarkasti tulevia sääolosuhteita. Tärkeää on myös tietää keräinten ominaisuudet ja hyötysuhteet. Tietokoneohjelmalla lasketaan näiden tietojen perusteella koko järjestelmän energiatase mallivuotena. Ohjelman avulla voidaan vertailla eri keräimien ja varaajien vaikutusta järjestelmän tuottavuuteen. Ohjelmaan pystytään myös syöttämään investointikustannukset, joten edullisin järjestelmä saadaan helposti selville. (6, s. 90.)

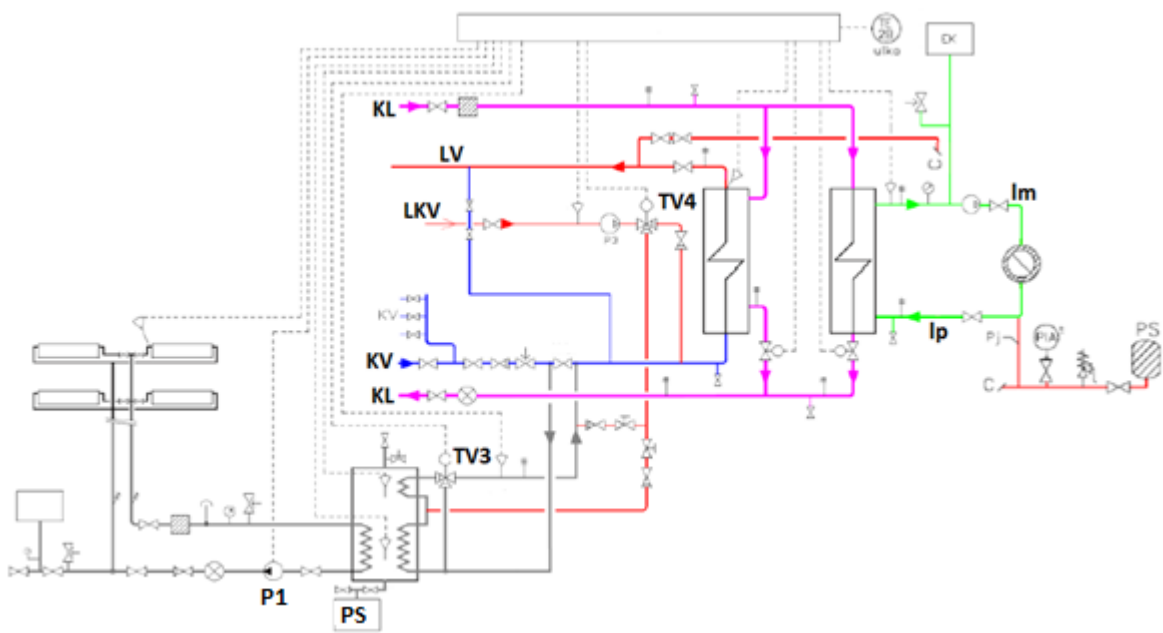
Aurinkolämpöjärjestelmän tarkka mitoittaminen perustuu siihen, että tiedetään kohteen energiankulutus ja osataan arvioida se tarkasti. Mitoitukseen vaikuttava asia on käytetäänkö aurinkokeräimiä ainoastaan lämpimän käyttöveden tuottamiseen vai hyödynnetäänkö niitä myös lämmityksessä. Lämpimän käyttöveden tuottoon suunnitellun keräimen mitoitukseen vaikuttaa veden kulutus ja käytetty keräintyyppi; mitoitus on suhteellisen helppoa. Haasteellisemmaksi mitoittaminen muuttuu, kun yhdistetään keräimiin myös lämmitys. Mitoitus helpottuu kuitenkin, kun keräimillä katetaan vain käyttövesi ja kesäaikainen lattialämmitys ja päälämmitysmuoto hoitaa muun ajan lämmityksen. Haasteellisimmissa tapauksissa pyritään saamaan mahdollisimman halpa lämmityksen kWh-hinta ja mahdollisimman suuri aurinko-omavaraisuus kesällä. (17, s. 55.)

Aurinkokeräimet mitoitetaan yleensä kesäajan lämmöntarpeen eli lämpimän käyttöveden tarpeen mukaan. Jos keräimillä pystytään tuottamaan kesäkuukausina kaikki tarvittava lämmin käyttövesi, tämä tarkoittaa 40–50:tä prosenttia kaikesta käyttöveden lämmitysenergiasta. Mitoituksessa kannattaa huomioda, että edullisimmat kilowattitunnit saadaan keräimillä, jotka eivät parhaimpinaan kesäpäivinä tuota kaikkea tarvittua energiaa. Mikäli kuitenkin halutaan vapautua muusta lämmitystarpeesta, reilumpi mitoitus on paikallaan. (17, s. 56.)

3.9 Aurinkolämmitysjärjestelmän liittäminen kaukolämpöön

Aurinkolämmitysjärjestelmä voidaan liittää kaukolämpöön hyvin monella eri kytkentätavalla riippuen lämmityskohteesta, kuten kuvista 19–21 voidaan nähdä.

Aurinkolämmön liittäminen kaukolämpöön aiheuttaa ongelmia kaukolämmön paluuveden lämpötilaan, joka on yleensä hieman korkeampi kuin normaaleissa lämmitysmuodoissa. Korkeampi paluulämpötila vähentää teoreettisesti kaukolämmön tehokkuutta ja häiritsee kaukolämpöverkkoa. (19, s. 12.)

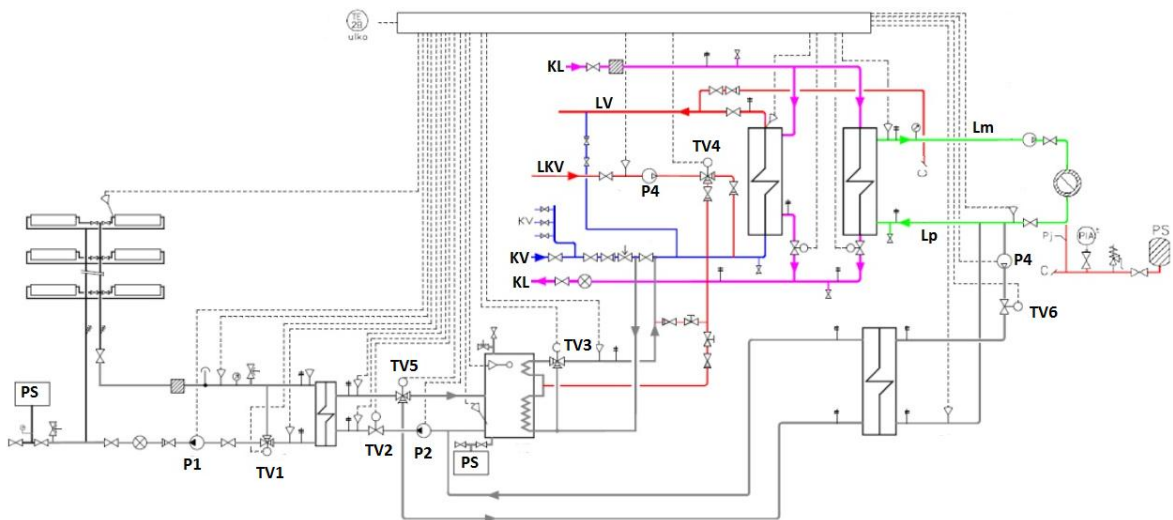


Kuva 19. Käyttöveden esilämmitykseen kytketty aurinkokeräinpiiri varaajalla (20, s. 46).

Aurinkolämpöjärjestelmän yhdistäminen talon omaan lämmitysjärjestelmään asettaa suuret vaatimukset aurinkolämpöjärjestelmän mitoitukselle. Kesäisin keräimet pystyvät yleensä tuottamaan suurimman tehonsa, silloin ei tarvita lämmitystehoa kuin käyttöveden lämmitykseen ja lämpimän käyttövedenkierron lämmön ylläpitämiseen. Tavallista on, että kesäisin aurinkokeräimet pystyvät tuottamaan lämmitysenergiaa enemmän kuin varaajan lämmitykseen tarvitaan. (22, s. 46.)

Pumppu P1 käynnistyy, kun lämpötila aurinkokeräimissä nousee korkeammalle kuin varaa-
jassa. Pumppu P1 käy normaalisti vakiokierrosnopeudella. Lämpötilan noustessa varaa-
ja on korkeammaksi kuin käyttöveden kierrossa venttiili TV4 aukeaa. Säätoventtiili TV3
säätelee, kuinka paljon kylmää vettä kierrätetään varaajan kautta. Käytettäessä ulkoista
lämmönsiirrintä on sen ohjaus paljon haasteellisempaa kuin kuvan 19 esittämän varaajaan
perustuvan järjestelmän. (22, s. 46.)

Kaukolämmön alajakokeskus voi olla rinnankytketty aurinkokeräinjärjestelmän kanssa.
Kytettäessä aurinkokeräimet kaksi- tai kolmeportaisesti täytyy muut kytkennät ottaa
huomioon. (22, s. 46.)



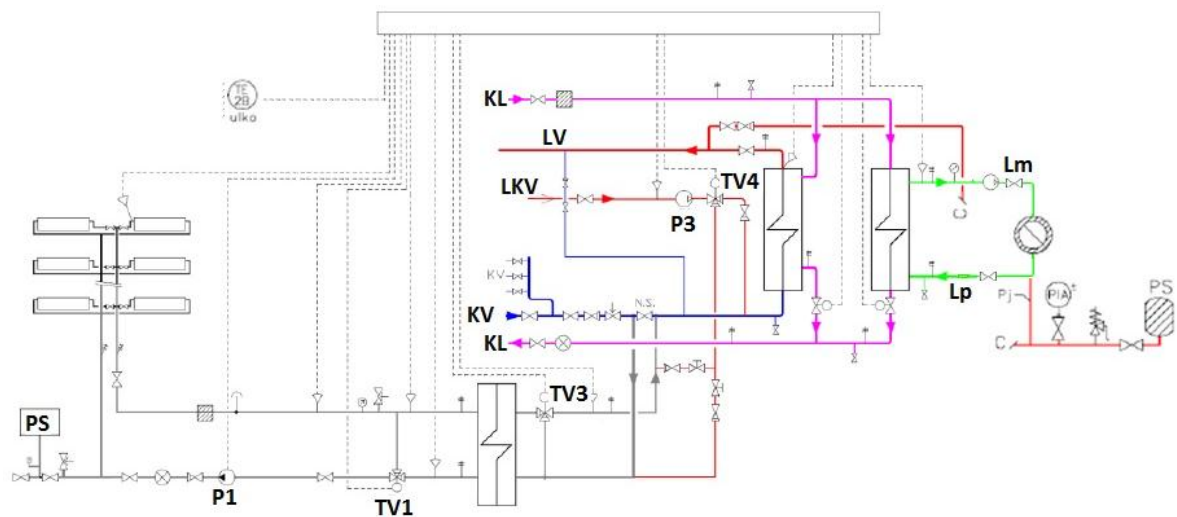
Kuva 20. Käyttöveden ja lämmityksen esilämmitykseksi kytketty aurinkokeräinpiiri varaajalla
(22, s. 48).

Aurinkolämpöjärjestelmän yhdistäminen talon omaan lämmitysjärjestelmään asettaa suu-
ret vaatimukset aurinkolämpöjärjestelmän mitoitukselle. Kesäisin keräimet pystyvät yleen-
sä tuottamaan suurimman tehonsa, silloin ei tarvita lämmitystehoa muualle kuin käyttöve-
den lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden kierron lämpötilatason ylläpitämiseen.
(22, s. 48.)

Tavallisesti lämmityksen tehon tarve on suurimmillaan silloin, kun auringonpaiste on vä-
häisintä, mutta joissain tapauksissa lämmitystä tarvitaan myös kesäisin. Tällaisia voivat
olla rakennukset, joissa on tuloilman esilämmitys tai rakennuksen kosteita tiloja lämmitte-

tään lattialämmityksellä. Kesäisin aurinkokeräinten tuottama energiamäärä on suurempi kuin kulutus. (22, s. 48.)

Pumppu P1 käynnistyy, kun lämpötila aurinkokeräimissä nousee korkeammalle kuin varaa- jassa. Pumppu P1 käy normaalisti vakio kierrosnopeudella. Lämpötilan noustessa varaa- jassa on korkeammaksi kuin käyttöveden kierrossa venttiili TV4 aukeaa. Säätoventtiili TV3 säättää, kuinka paljon kylmää vettä kierrätetään varaajan kautta. TV5 säättää, kuinka paljon vettä kierrätetään varaajan ja lämmönsiirtimen välillä. Lämpötilan noustessa lämmönsiirti- mellä tarpeeksi korkeaksi pumppu P4 käynnistyy, ja lämmitystä johdetaan myös patteri- verkostonsiirtimelle. TV6 säättää patteriverkostoon paluuveden perusteella oikean lämpöti- lan. (22, s. 48.)



Kuva 21. Käyttöveden esilämmitykseksi kytketty aurinkokeräinpiiri ilman varaajaa (20, s. 47).

Aurinkolämpöjärjestelmän yhdistäminen talon omaan lämmitysjärjestelmään asettaa suu- ret vaatimukset aurinkolämpöjärjestelmän mitoitukselle. Kesäisin keräimet pystyvät yleen- sä tuottamaan suurimman tehonsa, silloin ei tarvita lämmitystehoa kuin käyttöveden läm- mitykseen ja lämpimän käyttöveden kierron lämpötilatason ylläpitämiseen. Niissä tapauk- sissa, joissa lämmitystehon tarve ei ole kovin suuri, voidaan ajatella käytettäväksi aurinko- keräinjärjestelmää ilman varaajaa. Keräinten täytyy mukautua tehontarpeeseen myös ti- lanteissa, kun auringon paiste on voimakasta ja tehontarve on pieni. (22, s. 47.)

Pumppu P1 käynnistyy, kun käynnistyksen asetusarvolämpötila saavutetaan. Pumppu P1 käy normaalisti vakiokierrosnopeudella. TV4 avautuu, kun keräimiltä tulevan nesteen lämpötila on korkeampi kuin lämpimän käyttöveden paluu lämpötila. TV3 säättää siirtimeltä menevän veden lämpötilan vastaamaan asetusarvoa. (22, s. 47.)

Aurinkokeräinjärjestelmä ilman varaajaa ei normaalisti pysty tuottamaan lämmitystehontarvetta vastaavaa tehoa. Oikealla keräinten mitoituksella ja mitoituslämpötiloilla päästään hyvään lopputulokseen keräin pinta-alan nähden. (22, s. 47.)

Kaukolämmön alajakokeskus voi olla rinnankytketty aurinkokeräinjärjestelmän kanssa. Kytkettäessä aurinkokeräimet kaksi- tai kolmeportaisesti täytyy muut kytkennät ottaa huomioon. (22, s. 47.)

4 Poistoilmalämpöpumpun ja aurinkokeräinten kannattavuusvertailu

Tässä luvussa vertaillaan järjestelmien taloudellista kannattavuutta. Vertailussa on otettu huomioon järjestelmien ylläpito- ja investointikustannukset, mutta ei niiden erilaisia kyt-kentätapoja.

Vertailen kahta poistoilmalämpöpumppu- ja aurinkokeräinkerrostalokiinteistöä vastaaviin kolmeen kaukolämmöllä toimiviin kerrostalokiinteistöihin. Vertailukohteina ovat kiinteistö-jen kaukolämmön- ja sähkönkulutukset. Kaukolämmön- ja sähkönkulutustiedot ovat kiin-teistön omistajalta saatuja tietoja. Kiinteistöt sijaitsevat Suomen eri kaupungeissa. Kauko-lämmön ja sähkön energiankulutusta voidaan arvioida kiinteistöissä, kun käytetään normi-tettua kulutusindeksiä (ominaislämpö- ja ominaissähköindeksiä) kWh/rm³. Laskelmat on tehty Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.

Kaukolämmön kustannukset muodostuvat liittymismaksusta, kaukolämmön lämmönjako-keskuksen laitemaksuista ja rakennuskohteen sijainnista riippuvista kaukolämmön liityntä-johtomaksuista. Liittymismaksu määräytyy lämmitystehontarpeesta tai tilausvesivirrasta, joka lasketaan tehontarpeen avulla.

4.1 Kiinteistöjen lähtötiedot

Kiinteistöt ovat kerrostaloja, joissa on yksi rakennus. Rakennukset ovat tilavuudeltaan erikokoisia. Vertailun kannalta rakennusten tilavuudella ei ole merkitystä, koska vertailuryhmän rakennukset ovat suuruusluokaltaan samankokoisia. Taulukoissa 1–4 on vertailtavien kerrostalokiinteistöjen lähtötietoja, taulukon PILP = poistoilmalämpöpumppu ja AK = aurinkokeräin.

Taulukko 1. Kiinteistö 1.

Kiinteistö 1 PILP	PILP
kunta	Tampere
kaupunginosa	Hervanta
talotyyppi	kerrostalo
rakennusvuosi	1974
peruskorjausvuosi	-
tilavuus m^3	6800
lämpöindeksi kWh/m^3	24,8
sähköindeksi kWh/m^3	8,7

Taulukko 2. Kiinteistö 2.

Kiinteistö 2 PILP	PILP
kunta	Espoo
kaupunginosa	Leppävaara
talotyyppi	kerrostalo
rakennusvuosi	2005
peruskorjausvuosi	-
tilavuus m^3	11368
lämpöindeksi kWh/m^3	18,2
sähköindeksi kWh/m^3	7,8

Taulukko 3. Kiinteistö 3.

Kiinteistö 3 AK	aurinkokeräin
kunta	Porvoo
kaupunginosa	Gammelbacka
talotyyppi	kerrostalo
rakennusvuosi	1974
peruskorjausvuosi	90-luvun lopussa
tilavuus m^3	7240
lämpöindeksi kWh/m^3	40
sähköindeksi kWh/m^3	5,4

Taulukko 4. Kiinteistö 4.

Kiinteistö 4 AK	aurinkokeräin
kunta	Helsinki
kaupunginosa	Viikki
talotyyppi	kerrostalo
rakennusvuosi	2001
peruskorjausvuosi	-
tilavuus m^3	18373
lämpöindeksi kWh/m^3	36,4
sähköindeksi kWh/m^3	6,2

Vertailuryhmän kiinteistöt ovat kerrostaloja, joissa on yksi rakennus. Vertailuryhmän rakennukset ovat suuruusluokaltaan samankokoisia ja sijaitsevat samalla paikkakunnalla kuin kiinteistöt 1–4. Taulukoissa 5–8 on vertailuryhmän kiinteistöjen lähtötiedot.

Taulukko 5. Vertailukohteet 1, perustiedot.

Vertailukiinteistöt 1 KL			
rakennusvuosi	tilavuus m^3	lämpö kWh/m^3	sähkö kWh/m^3
1976	7510	36	5
1979	7380	32,6	3,6
1977	7580	42,6	4,3
tilavuudella painotettu keskiarvo		37,1	4,3

Taulukko 6. Vertailukohteet 2, perustiedot.

Vertailukiinteistöt 2 KL			
rakennusvuosi	tilavuus m^3	lämpö kWh/m^3	sähkö kWh/m^3
2001	9900	29,8	3,5
2004	9380	33,8	3,1
2003	11480	39,5	3,9
tilavuudella painotettu keskiarvo		34,6	3,5

Taulukko 7. Vertailukohteet 3, perustiedot.

Vertailukiinteistöt 3 KL			
rakennusvuosi	tilavuus m^3	kWh/m^3	sähkö kWh/m^3
1979	5825	42,5	1,5
1969	5907	44,5	3,7
1973	7460	41,4	4,9
tilavuudella painotettu keskiarvo		42,7	3,5

Taulukko 8. Vertailukohteet 4, perustiedot.

Vertailukiinteistöt 4 KL			
rakennusvuosi	tilavuus m^3	kWh/m^3	sähkö kWh/m^3
1998	24726	35,0	2,5
1998	14860	39,0	4,1
2000	21816	41,6	2,5
tilavuudella painotettu keskiarvo		38,3	2,9

4.2 Lämmitysenergian normittaminen

Jotta kiinteistöt olisivat vertailukelpoisia kulutukseltaan, on niiden käyttämä lämmitysenergia normitettava. Eri puolilla maata sijaitsevien kiinteistöjen keskinäisen vertailun vuoksi normitus tehdään Jyväskylään. Taulukossa 9 on esitetty tarvittavat lämmitystarveluvut, taulukossa 10 korjauskertoimet paikkakunnittain ja taulukossa 11 toteutunut lämmitystarveluku vuositasona. Normitettu lämmitysenergia lasketaan kaavalla 1 (25).

$$Q_{norm} = k_2 * \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut \text{ vpkunta}}} * Q_{toteutunut} + Q_{lämmin \text{ käyttövesi}} \quad (1)$$

Q_{norm}	rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus
k_2	paikkakunta-kohtainen korjauskerroin Jyväskylään
$Q_{toteutunut}$	rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia $= Q_{kok.lämmitys \text{ energia}} - Q_{lämmin \text{ käyttövesi}}$
$Q_{kok.lämmitys \text{ energia}}$	kokonaislämmitys energiakulutus
$Q_{lämmin \text{ käyttövesi}}$	lämpimän käyttöveden energiakulutus
$S_N \text{ vpkunta}$	normaalivuoden tai normaalikuukauden 1971–2000 lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
$S_{toteutunut \text{ vpkunta}}$	toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla

Taulukko 9. Lämmitystarveluvut 1971–2000 (24).

Lämmitystarveluvut 1971–2000

Vertailupaikkakunta	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Maarianhamina	599	577	559	424	216	36	7	22	160	320	433	543	3 896
Helsinki Kaisaniemi	657	619	574	404	169	12	2	15	144	331	468	594	3 989
Turku	667	629	582	399	170	19	4	23	170	352	488	612	4 115
Helsinki-Vantaa	691	647	593	402	165	18	4	27	185	364	502	631	4 229
Pori	680	639	589	413	189	25	5	29	195	364	500	627	4 255
Tampere-Pirkkala	734	681	614	411	186	29	6	39	211	382	537	672	4 502
Lahti Laune	737	686	615	419	172	25	6	36	215	394	533	674	4 512
Vaasa	732	667	620	445	215	33	9	47	221	397	535	667	4 588
Lappeenranta	771	702	624	425	177	26	6	34	204	404	548	691	4 612
Kuopio	820	748	657	468	213	34	8	43	216	415	579	742	4 943
Jyväskylä	789	727	650	464	217	43	13	63	251	427	576	725	4 945
Joensuu	837	762	670	479	231	43	12	55	237	434	598	759	5 117
Oulu	829	749	674	484	263	49	11	62	243	442	606	758	5 170
Kajaani	867	783	695	502	260	59	21	82	266	460	630	795	5 420
Sodankylä	964	840	759	570	358	113	55	150	330	545	742	911	6 337
Ivalo	947	823	752	575	387	153	76	157	328	545	744	894	6 381

Taulukko 10. Kertoimet k_2 normitetun lämmitysenergiankulutuksen laskentaan (25).

k_2	
Tampere	1,08
Espoo	1,18
Porvoo	1,15
Helsinki	1,24

Taulukko 11. Toteutuneet lämmitystarveluvut vuositasolla (26).

Paikkakunta	lämmitystarveluku
Tampere (Tampere-Pirkkala)	3951
Espoo (Helsinki, Kaisaniemi)	2892
Porvoo (Helsinki-Vantaa)	3669
Helsinki (Helsinki, Kaisaniemi)	2892

Rakennuksen kokonaisenergian kulutus MWh saadaan laskettua kaavan 2 avulla (25).

$$Q_{kok\ lämmitys\ energia} = tilavuus\ m^3 * lämpöindeksi\ kWh/1000 \quad (2)$$

Kiinteistön 1 PILP kokonaisenergiankulutus.

$$Q_{kok\ lämmitys\ energia} = 6800m^3 * 24,8kWh/1000 \approx 169MWh$$

Kiinteistöjen 1–4 lämmitysenergiankulutukset esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Kiinteistöjen 1–4 lämmitysenergiankulutukset vertailuvuonna 2011.

Vertailuvuosi 2011	kiinteistö 1 PILP	kiinteistö 2 PILP	kiinteistö 3 AK	kiinteistö 4 AK
lämmitysenergiankulutus MWh	169	207	290	669

Vertailukiinteistöjen 1–4 KL lämmitysenergiankulutukset, laskettuna tilavuudella painotetusta keskiarvosta, esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Vertailu kiinteistöjen 1–4 KL lämmitysenergiankulutukset vertailuvuonna 2011.

Vertailuvuosi 2011	vertailukiinteistöt 1 KL	vertailukiinteistöt 2 KL	vertailukiinteistöt 3 KL	vertailukiinteistöt 4 KL
lämmitysenergiankulutus MWh	278	355	273	784

Normittaminen koskee vain rakennuksen lämmittämiseen kuluva energiaa, joten säästä-
riippumaton lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia on ensin poistettava
rakennuksen kokonaislämmitysenergiasta, joka lasketaan kaavalla 3.

Mikäli rakennuksen lämmintä käyttövettä ei ole mitattu, se voidaan arvioida kolmella taval-
la.

Tapa 1. Oletetaan rakennuksen lämpimän käyttöveden kulutuksen ja kiertojohtojen läm-
pöhäviöiden olevan noin 30–40 prosenttia asuinrakennuksen vuotuisesta kokonaislämmi-
tysenergiasta.

Tapa 2. Lämpimän käyttöveden osuus (sisältäen kiertojohtojen lämpöhäviöt) voidaan arvi-
oida laskemalla kuukausikulutukset kesä-elokuun energiankulutusten perusteella. Edelly-
tyksenä on, että lämmitykset eivät ole päällä.

Tapa 3. Käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 tunnuslukuja.

Rakennuksen lämpimän käyttöveden energiankulutus MWh saadaan laskettua kaavan 3
avulla (25). Rakennuksen lämmintä käyttövettä ei ole mitattu, joten lämpimän käyttöve-
den osuutena käytetään 40 %:a kokonaiskulutuksesta.

$$Q_{\text{lämmin käyttövesi}} = Q_{\text{kok lämmitys energia}} * 0,4 \quad (3)$$

$Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$ veden lämmittämiseen kuluva energia (MWh)

Kiinteistön 1 PILP lämpimän käyttöveden energian kulutus MWh.

$$Q_{\text{lämmin käyttövesi}} = 169MWh * 0,4 \approx 68MWh$$

Kiinteistöjen 1–4 lämpimän käyttöveden energiankulutukset esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Kiinteistöjen 1–4 lämpimän käyttöveden energiankulutukset vertailuvuonna 2011.

Vertailuvuosi 2011	kiinteistö 1 PILP	kiinteistö 2 PILP	kiinteistö 3 AK	kiinteistö 4 AK
lämpimän käyttöveden energiankulutus MWh	68	83	116	268

Vertailukiinteistöjen 1–4 KL lämpimän käyttöveden energian kulutukset, laskettuna tilavuudella painotetusta keskiarvosta, esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Vertailukiinteistöjen 1–4 KL lämpimän käyttöveden energiankulutukset vertailuvuonna 2011.

Vertailuvuosi 2011	vertailukiinteistöt 1 KL	vertailukiinteistöt 2 KL	vertailukiinteistöt 3 KL	vertailukiinteistöt 4 KL
lämpimän käyttöveden energiankulutus MWh	111	142	109	314

Lämpimän käyttöveden kulutuksen kiinteistökohtaisia eroja ei huomioida.

Jotta kiinteistöt olisivat vertailukelpoisia kulutukseltaan, on niiden käyttämä lämmitysenergia normitettava. Eri puolilla maata sijaitsevien kiinteistöjen keskinäisen vertailun vuoksi normitus tehdään Jyväskylään. Taulukossa 9 on esitetty tarvittavat lämmitystarveluvut ja taulukossa 10 korjauskertoimet paikkakunnittain. Normitettu lämmitysenergia lasketaan kaavalla 1 (25).

Kiinteistön 1 PILP normitettu lämmitysenergian kulutus.

$$Q_{norm} = 1,08 * \frac{4502}{3951} * (169MWh - 68MWh) + 68MWh \approx 192MWh$$

Taulukossa 16 on esitetty kiinteistöjen Jyväskylään normitetut lämmitysenergian kulutukset.

Taulukko 16. Kiinteistöjen 1–4 Jyväskylään normitetut lämmitysenergian kulutukset.

Vertailuvuosi 2011	kiinteistö 1 PILP	kiinteistö 2 PILP	kiinteistö 3 AK	kiinteistö 4 AK
normitettu energiankulutus	192	284	347	954

Taulukossa 17 on esitetty vertailukiinteistöjen 1–4 KL Jyväskylään normitetut lämmitysenergiankulutukset.

Taulukko 17. Vertailukiinteistöjen 1–4 KL Jyväskylään normitetut lämmitysenergian kulutukset.

Vertailuvuosi 2011	vertailukiinteistöt 1 KL	vertailukiinteistöt 2 KL	vertailukiinteistöt 3 KL	vertailukiinteistöt 4 KL
normitettu energiankulutus	317	489	326	1118

4.3 Rakennuksen kulutusindeksi

Kaukolämmön ja sähkön energiankulutusten vertailun helpottamiseksi käytetään vertailun pohjana kulutusindeksiä kWh/Rm3 (ominaislämpö- ja ominaissähköindeksi), jotka saadaan kaavoista 4 ja 5. Kiinteistön tilavuudella tarkoitetaan tilaa, jotka rajoittavat ulkoseinien ulkopinnat, alapohjan alapinta ja yläpohjan yläpinta. Kiinteistön tilavuus lasketaan standardin SFS 2460 mukaisesti.

Rakennuksen ominaislämpöindeksi lasketaan kaavalla 4.

$$Q_{\text{ominaisläm.}} = \frac{Q_{\text{kok lämmitys energia}}}{V_{\text{rak}}} * 1000 \rightarrow \frac{Q_{\text{ominaisläm.}} * V_{\text{rak}}}{1000} = Q_{\text{kok lämmitys energia}} \quad (4)$$

$Q_{\text{ominaisläm.}}$ ominaislämpöindeksi (kWh/rm³)

V_{rak} kiinteistön tilavuus (rm³)

$Q_{\text{toteutunut}}$ rakennuksen lämmitysenergiankulutus

Kiinteistön 1 PILP ominaislämpöindeksi.

$$Q_{\text{ominaisläm.}} = \frac{169MWh}{6800rm^3} * 1000 \approx 24,8$$

Kiinteistön 1 PILP lämmitysenergian kokonaiskulutus.

$$Q_{\text{kok lämmitys energia}} = \frac{24,8 * 6800rm^3}{1000} \approx 169MWh$$

Rakennuksen ominaissähköindeksi lasketaan kaavalla 5.

$$Q_{ominaissäh.} = \frac{Q_{sähkö}}{V_{rak}} * 1000 \rightarrow \frac{Q_{ominaissäh.} * V_{rak}}{1000} = Q_{kok sähkö energia} \quad (5)$$

$Q_{ominaissäh.}$ ominaissähköindeksi
 V_{rak} kiinteistön tilavuus (rm³)
 $Q_{sähkö}$ rakennuksen sähköenergiankulutus

Kiinteistön 1 PILP sähköenergian kokonaiskulutus.

$$Q_{kok sähkö energia} = \frac{Q_{ominaissäh.} * V_{rak}}{1000}$$

Kiinteistön 1 PILP sähköenergian kokonaiskulutus.

$$\frac{8,7 * 6800rm^3}{1000} = 59,2MWh$$

Kiinteistön 1 PILP ominaissähköindeksi.

$$Q_{ominaissäh.} = 59,2MWh / 6800rm^3 * 1000 \approx 8,7$$

Taulukossa 18 on esitetty kiinteistöjen 1–4 vuoden 2011 sähköenergian kokonaiskulutus.

Taulukko 18. Vertailuvuoden 2011 kiinteistöjen 1–4 sähköenergian kokonaiskulutus.

Vertailuvuosi 2011	kiinteistö 1 PILP	kiinteistö 2 PILP	kiinteistö 3 AK	kiinteistö 4 AK
sähköenergian kokonaiskulutus MWh	59	89	39	114

Taulukossa 19 on esitetty vertailukiinteistöjen 1–4 KL vuoden 2011 sähköenergian kokonaiskulutus.

Taulukko 19. Vertailuvuoden 2011 vertailukiinteistöjen 1–4 KL sähköenergian kokonaiskulutus.

Vertailuvuosi 2011	vertailukiinteistöt 1 KL	vertailukiinteistöt 2 KL	vertailukiinteistöt 3 KL	vertailukiinteistöt 4 KL
sähköenergian kokonaiskulutus MWh	32	36	22	59

Taulukossa 16 on esitetty kiinteistöjen 1–4 Jyväskylään normitetut kulutukset, näistä kulutuksista lasketaan kaukolämpöenergian kustannus. Vertailussa ei huomioida kaukolämmön perusmaksuja tai niiden muutoksia.

Kiinteistön 1 normitettu kaukolämmön energiankulutus.

$$Q_{norm} = \frac{24,8 * 6800 \text{ m}^3}{1000} \approx 192 \text{ MWh}$$

Kaukolämpöenergian hinta on $60,89 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ (Tampereen sähkölaitos kaukolämpö Oy)

Kokonaislämpöenergian kustannus.

$$192 \text{ MWh} * 60,89 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \approx 11691 \text{ €}$$

Taulukossa 20 on esitetty kiinteistöjen 1–4 normitetun kulutuksen kaukolämpöenergian kustannus vertailuvuonna 2011.

Taulukko 20. Vertailuvuoden 2011 kiinteistöjen 1–4 normitetun kaukolämpöenergian kustannus.

Vertailuvuosi 2011	kiinteistö 1 PILP	kiinteistö 2 PILP	kiinteistö 3 AK	kiinteistö 4 AK
kaukolämpöenergian kustannus euroina	11 691	17 293	20 676	57 167

Taulukossa 18 on esitetty kiinteistöjen 1–4 kokonaissähköenergian kulutus, kulutuksista lasketaan sähköenergian kustannus. Vertailussa ei huomioida sähköenergian perusmaksuja tai niiden muutoksia.

Kiinteistön 1 kokonaissähköenergian kulutus.

$$Q_{\text{kok sähkö energia}} = \frac{8,7 * 6800 \text{ m}^3}{1000} \approx 59 \text{ MWh}$$

Sähkön hinta on $14,52 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}}$ (Tampereen sähkölaitos)

Sähköenergian kustannus.

$$59 \text{ MWh} * 14,52 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} * 10 \approx 8567 \text{ €}$$

Taulukossa 21 on esitetty kiinteistöjen 1–2 PILP sähköenergian kustannus vertailuvuonna 2011.

Taulukko 21. Kiinteistöjen 1–2 PILP sähköenergian kustannus.

Vertailuvuosi 2011	kiinteistö 1 PILP	kiinteistö 2 PILP
sähköenergian kustannus (euroa)	8 567	12 875

Taulukosta 17 saatujen kulutusten perusteella lasketaan vertailukiinteistöille 1–4 KL normitettu ominaislämpöindeksi kaavalla 6. Laskennassa käytetään vertailukiinteistöjen tilavuudesta keskiarvoa.

$$Q_{nom} = \frac{Q_{ominaisläm.} * V_{rak}}{1000} \rightarrow \frac{Q_{nom}}{V_{rak}} * 1000 = Q_{norm\ ominaisläm.} \quad (6)$$

$Q_{norm\ ominaisläm.}$ normitettu ominaislämpöindeksi (kWh/rm³)

Vertailu kiinteistön 1 KL normitettu ominaislämpöindeksi:

$$Q_{norm\ ominaisläm.} = \frac{317MWh}{7490rm^3} * 1000 \approx 42,3kWh/rm^3$$

Taulukossa 22 on esitetty vertailukiinteistöjen 1–4 KL normitetut ominaislämpöindeksit vertailuvuonna 2011.

Taulukko 22. Vertailukiinteistöjen 1–4 KL normitetut ominaislämpöindeksit.

Vertailuvuosi 2011	vertailukiinteistöt 1 KL	vertailukiinteistöt 2 KL	vertailukiinteistöt 3 KL	vertailukiinteistöt 4 KL
normitettu ominaislämpöindeksi	42,3	47,7	51,0	54,6

Vertailukiinteistöjen 1–4 KL normitetut ominaislämpöindeksit sijoitetaan kiinteistöjen 1–4 tilavuuksiin. Näiden kulutusten perusteella lasketaan kaukolämpöenergian kustannus. Vertailussa ei huomioida kaukolämmön perusmaksuja tai niiden muutoksia.

Vertailu kiinteistön 1 KL kokonaislämpöenergian kulutus, vertailukiinteistöjen ominaislämpöindeksillä ja kiinteistöjen 1–4 tilavuuksilla.

$$Q_{\text{kok lämmitys energia}} = \frac{42,3 * 6800 \text{ m}^3}{1000} \approx 287 \text{ MWh}$$

Taulukko 23. Vertailukiinteistöjen 1–4 KL kaukolämpöenergian kulutus.

Vertailuvuosi 2011	vertailukiinteistöt 1 KL	vertailukiinteistöt 2 KL	vertailukiinteistöt 3 KL	vertailukiinteistöt 4 KL
kaukolämpöenergian kulutus MWh	287	542	369	1003

Kaukolämmön hinta on $60,89 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ (Tampereen sähkölaitos kaukolämpö Oy)

Kaukolämpöenergian kustannus.

$$287 \text{ MWh} * 60,89 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \approx 17475 \text{ €}$$

Taulukossa 24 on vertailukiinteistöjen 1–4 KL normitettujen ominaislämpöindeksien kaukolämpöenergian kustannus kiinteistöjen 1–4 tilavuuksilla, vertailuvuonna 2011.

Taulukko 24. Vertailukiinteistöjen 1–4 kaukolämpöenergian kustannus.

Vertailuvuosi 2011	vertailukiinteistöt 1 KL	vertailukiinteistöt 2 KL	vertailukiinteistöt 3 KL	vertailukiinteistöt 4 KL
kaukolämpöenergian kustannus (euroa)	17 475	33 018	22 468	61 073

Vertailukiinteistöjen 1–2 KL ominaissähköindeksit sijoitetaan kiinteistöjen 1–2 PILP tilavuuksiin. Näiden kulutusten perusteella lasketaan sähköenergian kustannus vertailuvuonna. Vertailussa ei huomioida sähköenergian perusmaksuja tai niiden muutoksia.

Vertailukiinteistön 1 KL sähköenergian kokonaiskulutus, vertailukiinteistöjen ominaissähköindeksillä ja kiinteistöjen 1–2 tilavuuksilla.

$$\frac{4,3 * 6800 m^3}{1000} = 29,2 MWh$$

Sähkön hinta on $14,52 \frac{snt}{kWh}$

Sähköenergian kustannus vertailukiinteistön ominaissähköindeksillä.

$$29,2 MWh * 14,52 \frac{snt}{kWh} * 10 \approx 4147 \text{€}$$

Taulukossa 25 on esitetty kiinteistöjen 1–2 KL sähköenergian kustannusvertailu vuonna 2011, vertailukiinteistöjen 1–2 KL ominaissähköindeksillä ja kiinteistöjen 1–2 PILP tilavuuksilla.

Taulukko 25. Vertailukiinteistöjen 1–2 KL sähköenergian kustannus, vertailukiinteistöjen ominaissähköindeksillä.

Vertailuvuosi 2011	vertailukiinteistöt 1 KL	vertailukiinteistöt 2 KL
sähköenergian kustannus euroina	4147	5777

Kiinteistöjen 1–2 PILP kaukolämpö- ja sähköenergian kustannus lasketaan taulukoista 20 ja 21. Taulukossa 26 on esitetty kiinteistöjen 1–2 kaukolämmön- ja sähköenergian kustannusvertailu vuonna 2011.

Taulukko 26. Kiinteistöjen 1–2 kaukolämmön- ja sähköenergian kustannus.

Vertailuvuosi 2011	kiinteistö 1 PILP	kiinteistö 2 PILP
energiakustannus (euroa)	20 258	30 168

Vertailukiinteistöjen 1–2 KL kaukolämpö- ja sähköenergian kustannus lasketaan taulukoista 23 ja 24. Taulukossa 27 on esitetty vertailukiinteistöjen 1–2 KL kaukolämpö- ja sähköenergian yhteiskustannusvertailu vuonna 2011.

Taulukko 27. Vertailukiinteistöjen 1–2 KL kaukolämpö- ja sähköenergian yhteiskustannus.

Vertailuvuosi 2011	vertailukiinteistöt 1 KL	vertailukiinteistöt 2 KL
energiakustannus (euroa)	21 622	38 795

Taulukossa 28 on esitetty kiinteistöjen 1–2 PILP ja vertailu kiinteistöjen 1–2 KL kaukolämmön- ja sähköenergian kulutuksen kustannussäästövertailu vuonna 2011 käytettäessä poistoilmalämpöpumppua.

Taulukko 28. Kiinteistöjen 1–2 ja vertailukiinteistöjen 1–2 KL energiankulutuksen kustannussäästö poistoilmalämpöpumpulla.

Vertailuvuosi 2011		
vertailukiinteistön energiakustannus kaukolämmöllä euroina	vertailukiinteistö 1 KL	vertailukiinteistö 2 KL
	21 622	38 795
kiinteistön energia-kustannus kauko-lämpö+PILP euroina	kiinteistö 1 PILP	kiinteistö 2 PILP
	20 258	30 168
kaukolämpö- ja sähköenergian kustannussäästö euroina	1 364	8 627

Aurinkokeräinjärjestelmän kustannussäästöjä laskettaessa ei huomioida kiinteistön sähköenergian kulutusta, koska aurinkokeräinjärjestelmässä sähköenergiaa tarvitsevat vain kiertovesipumput, joiden osuus kokonaisenergiasta on vähäinen. Kiinteistöjen 3–4 AK ja vertailukiinteistöjen 3–4 KL kaukolämmönenergian kulutus lasketaan taulukoista 20 ja 21. Taulukossa 29 on esitetty kaukolämmön kustannussäästö vertailuvuonna 2011 aurinkokeräinjärjestelmää käytettäessä.

Taulukko 29. Kaukolämmön energiankustannussäästö aurinkokeräinjärjestelmällä.

Vertailuvuosi 2011		
vertailukiinteistön energiankustannus kaukolämmöllä euroina	vertailukiinteistö 3 KL	vertailukiinteistö 4 KL
	21 129	58 089
kiinteistön energia-kustannus kauko-lämpö+AK (euroa)	kiinteistö 3 AK	kiinteistö 4 AK
	20 676	57 167
kaukolämpö energian kustannus-säästö (euroa)	1 792	3 906

4.4 Investoinnin takaisinmaksuaika ja nykyarvo

Investoinnin takaisinmaksuaikaa laskettaessa selvitetään, onko kannattavaa tehdä investointia. Siinä ei huomioida takaisinmaksuajan jälkeisiä säästöjä. Taulukossa 30 on esitetty laitteistojen investointikustannukset, jotka ovat kiinteistönomistajalta saatuja tietoja. Investoinnin takaisinmaksuaika lasketaan normitetusta lämmitys energiankulutuksesta kaavalla 7 (27).

$$T = \frac{I}{(W - H)} \quad (7)$$

T	investoinnin takaisinmaksuaika, a
I	investoinnin hankintakustannukset, €
W	energiansäästö, €/a
H	laitteiston huoltokustannukset, €/a

Taulukko 30. Investoinnin hankintakustannukset.

	kiinteistö 1 PILP	kiinteistö 2 PILP	kiinteistö 3 AK	kiinteistö 4 AK
hankintakustannus	50 000	50 000	60 000	60 000

Kiinteistöjen 1–2 PILP poistoilmalämpöpumppujen takaisinmaksuaika lasketaan vertailuvuoden 2011 normitetuista kulutuksista. Näiden kulutusten perusteella on laskettu kaukolämpö- ja sähköenergian kustannus. Vertailussa ei huomioida kaukolämmön- ja sähkönperusmaksuja tai niiden muutoksia. Taulukosta 28 saadaan kiinteistöjen 1–2 PILP energiansäästö euroina, huoltokustannuksiksi arvioimme suodattimien kustannuksen 150 €/a.

Kiinteistön 1 PILP poistoilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika, kaavalla 7.

$$T = \frac{50000\text{€}}{(1342 - 150)\text{€/a}} \approx 37a$$

Taulukossa 31 on kiinteistöjen 1–2 PILP poistoilmalämpöpumppujen takaisinmaksuaika laskettuna vertailuvuoden 2011 normitetuista kulutuksista.

Taulukko 31. Kiinteistöjen 1–2 PILP poistoilmalämpöpumppujen takaisinmaksuaika.

Vertailuvuosi 2011	kiinteistö 1 PILP	kiinteistö 2 PILP
poistoilmalämpöpumppu takaisinmaksuaika vuotta	37	6

Kiinteistöjen 3–4 AK aurinkokeräinjärjestelmän takaisinmaksuaika lasketaan vertailuvuoden 2011 normitetuista kulutuksista. Näiden kulutustenperusteella on laskettu kaukolämpö-energian kustannus. Vertailussa ei huomioida kaukolämmön perusmaksuja tai niiden muutoksia. Taulukosta 29 saadaan kiinteistöjen 3–4 AK energiansäästö, huoltokustannuksia ei aurinkokeräinjärjestelmässä ole.

Kiinteistön 3 AK aurinkokeräinjärjestelmän takaisinmaksuaika.

$$T = \frac{60000\text{€}}{1792\text{€/a}} \approx 33a$$

Taulukossa 32 on kiinteistöjen 3–4 AK aurinkokeräinjärjestelmän takaisinmaksuaika laskettuna vertailuvuoden 2011 normitetuista kulutuksista.

Taulukko 32. Kiinteistöjen 3–4 AK aurinkokeräinjärjestelmän takaisinmaksuaika.

Vertailuvuosi 2011	kiinteistö 3 AK	kiinteistö 4 AK
poistoilmalämpöpumppu takaisinmaksuaika vuotta	33	15

Kiinteistöstä 1 PILP on tiedossa kaukolämpö- ja sähköenergian kulutus vuodelta 2009 ennen poistoilmalämpöpumpun asentamista. Vertailemme vuoden 2009 ja 2011 kaukolämmön- ja sähköenergian kulutuksia toisiinsa. Asentamisen yhteydessä ei ole tehty muita toimenpiteitä, jotka vaikuttaisivat rakennuksen energiankulutukseen. Lämmitystarveluvun avulla voidaan kiinteistön energiankulutusta vertailla vuositasolla. Normitus vuositasolla tehdään kaavalla 10 (25). Taulukossa 33 on laskennan lähtötietoja.

$$Q_{norm} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut} \text{ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lämmön käyttövesi} \quad (10)$$

Taulukko 33. Lähtötietoja vertailuvuosien 2009 ja 2011 laskentaan.

vuoden 2009 kaukolämpöenergian kulutus	307MWh
vuoden 2009 sähköenergian kulutus	33MWh
vuoden 2009 lämmitystarveluku	4377
vuoden 1971–2000 lämmitystarveluku	4502

Lasketaan vuoden 2009 lämpimän käyttöveden energiankulutus kaavalla 3.

$$Q_{lämmön käyttövesi} = 307MWh * 0,4 \approx 123MWh$$

Lasketaan $Q_{toteutunut}$.

$$Q_{toteutunut} = (307 - 123)MWh \approx 184MWh$$

Lasketaan vuoden 2009 normitettu energiankulutus kaavalla 10.

$$Q_{norm} = \frac{4502}{4377} * 184 + 123 \approx 312MWh$$

Lasketaan vuoden 2009 normitetun kokonaisenergian kulutuksen kustannus.

$$312MWh * 60,89 \frac{\text{€}}{MWh} + (33MWh * 0,1452 \frac{\text{snt}}{kWh} * 10) \approx 19046\text{€}$$

Vuoden 2011 normitettu kaukolämpöenergian kulutus saadaan taulukosta 12 ja sähköenergiankulutus taulukosta 18. Taulukossa 34 on esitetty poistoilmalämpöpumpun kustannussäästöt vuonna 2011 verrattuna vuoteen 2009.

Lasketaan vuoden 2011 normitetun kokonaisenergian kulutuksen kustannus.

$$169MWh * 60,89 \frac{\text{€}}{MWh} + (59MWh * 0,1452 \frac{\text{snt}}{kWh} * 10) \approx 10376\text{€}$$

Taulukko 34. Kiinteistön 1 PILP energiankulutuksen kustannussäästö poistoilmalämpöpumpulla.

Vertailuvuosi 2011	
kiinteistön 1 PILP energia kustannus kaukolämpö+sähkö vuonna 2009 (euroa)	19 046
kiinteistön 1 PILP energia kustannus kaukolämpö+sähkö+PILP vuonna 2011 (euroa)	10 376
kaukolämpö- ja sähkö energiankustannus säästö (euroa)	8 670

Lasketaan kiinteistön 1 PILP poistoilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika vuoden 2011 kulutus verrattuna vuoteen 2009, kaavalla 7.

$$T = \frac{50000\text{€}}{8670\text{€/a}} \approx 6a$$

Kun verrataan poistoilmalämpöpumpun takaisinmaksuaikaa todellisten kulutusten ja vertailukiinteistöjen kulutusten perusteella, huomataan, että takaisinmaksuajat vaihtelevat.

Taulukossa 35 on esitetty muista lähteistä kerättyjä poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkokeräinten investointikustannuksia, vuotuisia säästöjä sekä takaisinmaksuaikoja.

Taulukko 35. Poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkokeräinten investointikustannuksia, vuotuisia säästöjä sekä takaisinmaksuaikoja, (29, s. 30–35; 30; 31; 32, s. 52–53; 33, s. 166–167, 178).

Kunta	talotyyppi	laite	takaisinmaksu-aika vuotta	investointi-kustannus euroa	vuotuinen säästö euroa/vuosi
Porvoo	kerrostalo	PILP	15	110 000	7404
Riihimäki	kerrostalo	AK	6–8	-	1500–2000
Akaa	kerrostalo	PILP	23	44 700	1979
Oulu	kerrostalo	PILP	n.5	50 000	n. 10 000
-	kerrostalo	PILP	20	60 000	2950
-	rivitalo	AK	-	25 000	400–1000

Vuotuisten kustannusten nykyarvolla lasketaan järjestelmän kustannuksia tietyllä aikavälillä. Vuotuisten kustannusten nykyarvo kiinteistöille 1–2 ja vertailukiinteistöille 1–2 saadaan laskettua kaavalla 8 ja vuotuisten huoltokustannusten nykyarvo kaavalla 9 (28, s. 57–58). Taulukosta 21 ja 24 saadaan vertailuvuoden 2011 kokonaisenergian kustannukset. Taulukossa 36 on laskennassa käytetyt lähtöarvot, pelkässä kaukolämmössä ei ole huoltokustannuksia.

$$NE = (Q_{norm\ läm.\ kustannus} + Q_{sähkö\ kustannus}) * \frac{1}{(i-p)} * \frac{[1+(i-p)]^n - 1}{[1+(i-p)]^n} \quad (8)$$

$$NH = H * \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \quad (9)$$

NE	vuotuisten energiakustannusten nykyarvo
NH	vuotuisten huoltokustannusten nykyarvo
$Q_{norm\ läm.kustannus}$	kaukolämpöenergian kustannus, €
$Q_{sähkö\ kustannus}$	sähköenergian kustannus, €
p	vuotuinen energian nimellinen kustannusten nousu
i	reaalikorkokanta %
n	käyttöjakson pituus
H	laitteiston huoltokustannukset, €/a

Taulukko 36. Nykyarvolaskennan lähtötietoja.

nykyinen energian hinta kaukolämpö 60,89 €/MWh
nykyinen energian hinta sähkö 0,1452 €/kWh
vuotuinen energian kustannusten reaalinousu 3 %
reaalikorkokanta 4 %
huoltokustannukset 150 €/a
laskenta-aika 20 vuotta

Kiinteistön 1 PILP energiankulutuksen- ja huoltokustannusten nykyarvo poistoilmalämpöpumpulla lasketaan kaavalla 8 ja 9.

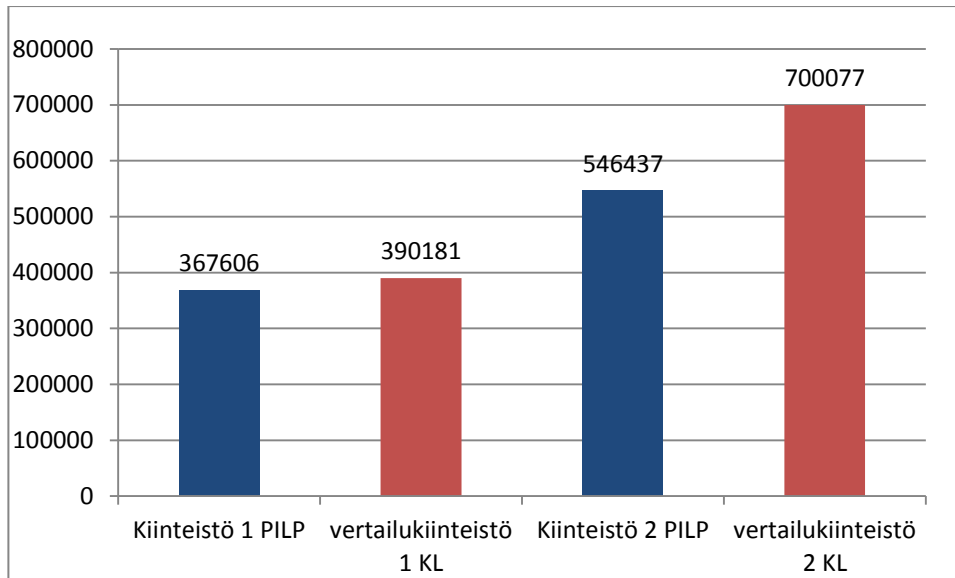
$$NE = (20258\text{€}) * \frac{1}{(4/100 - 3/100)} * \frac{[1 + (4/100 - 3/100)]^{20} - 1}{[1 + (4/100 - 3/100)]^{20}} \approx 365567\text{€}$$

$$NH = 150\text{€} * \frac{(1 + 4/100)^{20} - 1}{4/100 * (1 + 4/100)^{20}} \approx 2039\text{€}$$

Taulukossa 37 ja kuvassa 22 on esitetty vuotuisten kustannusten nykyarvo kiinteistöille 1–2 PILP ja vertailu kiinteistöille 1–2 KL.

Taulukko 37. Investoinnin 20 vuoden kustannusten nykyarvo.

Vuotuisten kustannusten nykyarvo 20 vuotta	kiinteistö 1 PILP	kiinteistö 2 PILP	vertailu- kiinteistö 1 KL	vertailu- kiinteistö 2 KL
nykyarvo PILP + kaukolämpö + sähkö €	365 567	544 398		
huoltokustannusten nykyarvo PILP €	2 039	2 039		
nykyarvo kaukolämpö + sähkö €			390 181	700 077
huoltokustannusten nykyarvo kaukolämpö €			0	0
YHT €:	367 606	546 437	390 181	700 077



Kuva 22. Investoinnin 20 vuoden kustannusten nykyarvo.

Vuotuisten kustannusten nykyarvo kiinteistöille 3–4 AK ja vertailu kiinteistöille 3–4 KL saadaan laskettua kaavalla 8 ja vuotuisia huoltokustannuksia ei aurinkokeräinjärjestelmässä ole. Taulukosta 20 ja 24 saadaan vertailuvuoden 2011 kaukolämpöenergian kustannukset. Taulukossa 38 on laskennassa käytetyt lähtöarvot.

Taulukko 38. Nykyarvolaskennan lähtötietoja.

nykyinen energian hinta kaukolämpö 60,89 €/MWh
vuotuinen energian kustannusten nousu 3%
reaalikorkokanta 4%
laskenta-aika 20 vuotta

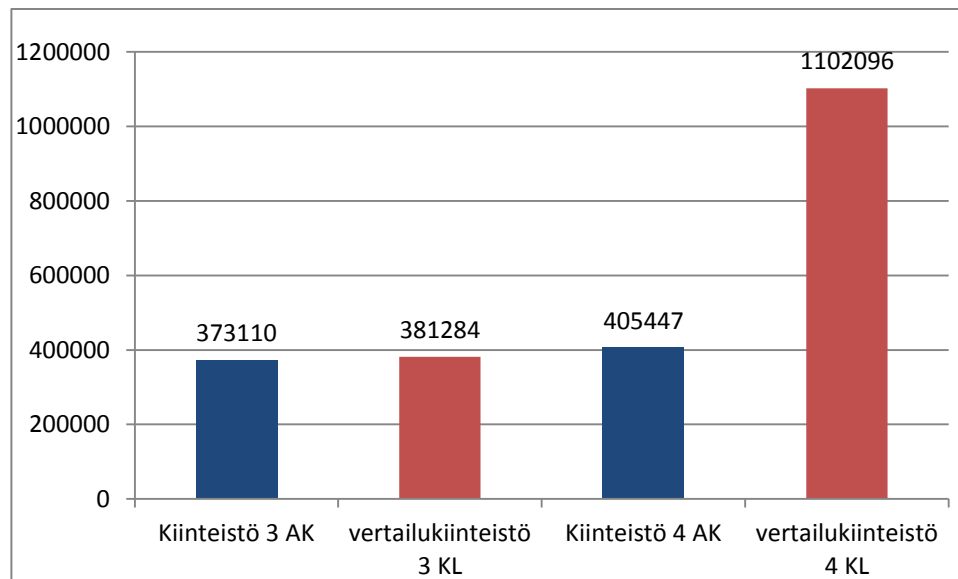
Kiinteistön 3 AK kaukolämmön energiankulutuksen nykyarvo aurinkokeräinjärjestelmässä.

$$NE = (20676\text{€}) * \frac{1}{(4/100 - 3/100)} * \frac{[1 + (4/100 - 3/100)]^{20} - 1}{[1 + (4/100 - 3/100)]^{20}} \approx 373110\text{€}$$

Taulukossa 39 ja kuvassa 23 on esitetty vuotuisten kustannusten nykyarvo kiinteistöille 3–4 AK ja vertailukiinteistöille 3–4 KL.

Taulukko 39. Investoinnin 20 vuoden kustannusten nykyarvo.

Vuotuisten kustannusten nykyarvo 20 vuotta	kiinteistö 3 AK	kiinteistö 3 AK	vertailukiinteistö 4 KL	vertailukiinteistö 4 KL
nykyarvo AK + kaukolämpö €	373 110	381 284		
nykyarvo kaukolämpö €			405 447	1 048 248
YHT €:	373 110	381 284	405 447	1 102 096



Kuva 23. Investoinnin 20 vuoden kustannusten nykyarvo.

5 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoitus oli tutustuttaa poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkolämmityksen teoriaan ja tutkimustehtäväni oli vertailla näiden lämmitysmuotojen kaukolämmön ja sähkön energiankulutusta.

Energiansäästötarve syntyy yleensä taloudellisista syistä. Säästötoimia on järkevä toteuttaa, jos ne ovat kannattavia muihin sijoituksiin nähden. Investointipäätöstä tehtäessä on kuitenkin huomioitava myös muita näkökulmia kuin taloudelliset, kuten asumisviihtyisyyden parantaminen tai ekologisen lisäarvon tuottaminen kiinteistölle. Tulevaisuudessa kaukolämmön rinnalla toimivien lämmitysmuotojen suosio kasvaa. Mitkä niistä ovat kiinteistöjen elinkaaren näkökulmasta kannattavimpia niin taloudellisesti kuin ekologisestikin?

Työn lopputuotoksena saatiin laskennalliset takaisinmaksuajat ja nykyarvot poistoilmalämpöpumppu- ja aurinkokeräinjärjestelmille. Saadut tulokset kertovat järjestelmien kannattavuudesta, mutta ovat lähinnä suuntaa antavia. Laskelmien ongelmana on, että kaikkien kiinteistöjen kulutustietoja ei voitu vertailla ennen ja jälkeen lisälämmitysjärjestelmän asentamista, vaan niitä verrattiin vastaaviin kiinteistöihin. Lisäksi saadut järjestelmien hinnat, jotka vaikuttavat takaisinmaksuaikoihin, ovat kiinteistöjen omistajilta saatuja hintoja, jotka vaihtelevat kiinteistökohtaisesti. Vertailun tuloksena poistoilmalämpöpumppujärjestelmä on taloudellisesti kannattavampi kuin aurinkolämmitysjärjestelmä. Aurinkolämmityksen ongelmana on kuukausittain vaihteleva aurinkoenergian saatavuus. Poistoilmalämpöpumpun etu on sen kyky tuottaa energiaa rakennuksen tarpeisiin läpi vuoden.

Lähteet

- 1 von Bell Clas; Tala Martti. 2010. Verkkodokumentti. Suomela.
<<http://www.suomela.fi/lammitys/Kaukolampo/Sopisiko-hybridilammitys-sinun-taloosi--51172>>.2010. Luettu 12.8.2011
- 2 Alto, Palo. Verkkodokumentti. 2008. Energy miser systems.
<http://www.energymiserfurnace.com/hybrid_system_savings.htm>. 2008. Luettu 14.8.2011
- 3 Lappalainen, Markku. 2010. Energia- ja Ekologiakäsikirja. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 4 Perälä, Rae. 2009. Lämpöpumput Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmistä. Helsinki: Alfamer Oy.
- 5 Seppänen, Olli. 1995. Rakennusten lämmitys. Espoo: Suomen LVI-yhdistysten liitto ry.
- 6 Erat Bruno, Erkkilä Vesa, Nyman Christer, Peippo Kimmo, Peltola Seppo, Suokivi Hannu. 2008. Aurinko-opas. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys ry – Soltekniska Föreningen rf.
- 7 Harju, Pentti. 2006. Lämmitystekniikan oppikirja. Kouvola: Penan Tieto-Opus Oy.
- 8 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2008. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 9 Ilmalämpöpumput. 2008. Verkkodokumentti. Motiva.
<<http://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>>. Luettu 19.8.2011
- 10 Poistoilmalämpöpumppu. 2011. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Verkkodokumentti. <http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=21&Itemid=115>. Luettu 19.8.2011
- 11 Hakala, Pentti & Kaappola, Esko. 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. Jyväskylä: Opetushallitus.
- 12 Aittomäki, Antero. 2008. Kylmätekniikka. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys r.y.
- 13 Lappalainen, Markku. 1983. Energiakäsikirja. Helsinki: Rakennuskirja Oy.
- 14 Aurinkolämpö. 2011. Verkkodokumentti. Ympäristöenergia Oy. <<http://www.y-energia.com/aurinkolampo/varaaja/varaaja.html>>. Luettu 14.9.2011
- 15 Aurinkolämpö. 2011. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo>. Luettu 19.9.2011.

- 16 Tyhjiöputkikeräimet. 2009. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet>. Luettu 19.9.2011.
- 17 Erkkilä Vesa. 2003. Aurinko lämpöopas itserakentajille. Helsinki: Kustantajat Sarmala Oy/ Rakennusalan Kustantajat RAK.
- 18 Aittomäki Antero. 2001. Lämpöpumppulämmitys. Tampere: Suomen Lämpöpumppuyhdistys r.y/ Motiva.
- 19 Eko-Viikin aurinkolämpöjärjestelmien käyttökokemusten analyysi. 2009. Verkkodokumentti. Helsingin Energia.
<http://www.viikinuusiutuvaenergia.net/Anna_Johansson_Eko-Viikki.pdf>. Luettu 19.9.2011.
- 20 Lammert, Laura. 2011. Kaukolämmön ja lämpöpumpun yhdistämisen kytkentävaihtoehtoja. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 21 Aurinkoenergia. 2012. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia>. Luettu 12.1.2012.
- 22 Fjärrvärmecentralen kopplingsprinciper. 2009. Svensk Fjärrvärme. Tukholma: Svensk Fjärrvärme.
- 23 NOVA-aurinkokeräimet. 2009. verkkodokumentti. Solartukku.
<http://www.solartukku.fi/images/stories/download/nova_aurinkokeraimet.pdf>. Luettu 18.1.2012.
- 24 Lämmitystarveluvut. 2011. Verkkodokumentti. Motiva.
http://motiva.fi/files/1482/Lammitystarveluvut_1971_2000-taulukko.pdf>. Päivitetty 12.1.2011. Luettu 24.1.2012
- 25 Laskukaavat. 2010. Verkkodokumentti. Motiva.
http://motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energia_nhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammitysenergiankulutus>. Päivitetty 7.12.2010. Luettu 30.1.2012
- 26 Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. 2012. Verkkodokumentti. Ilmatieteenlaitos.
<<http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>> 2012. Luettu 29.1.2012.
- 27 LVI 02-10383. Investointilaskelmat ja laskelmataulukot. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto, 2005.
- 28 Sukanen, Mikko. 2009. Pientalon hybridi-lämmitysjärjestelmä. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 29 Vikblom, Aku. 2012. Lämmön talteenotto poistoilmalämpöpumpulla asuinrakennusten yhteiskanavajärjestelmällä. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

- 30 Määttä, Timo. 2010. Uusiutuva energia katselmuksissa. Verkkodokumentti. Motiva. < http://www.motiva.fi/files/3830/Uusiutuva_energia_katselmuksessa.pdf>. Päivitetty 9.12.2010. Luettu 30.1.2012.
- 31 Taloyhtiön käyttövesi lämpenee aurinkoenergialla. 2010. Joka kodin asuntomarkkinat. <http://www.mtv3.fi/ohjelmat/sivusto2008.shtml/lifestyle/joka_kodin_asuntomarkkinat/ohjelma__taloyhtio?1077026>. Päivitetty 14.3.2010. Luettu 30.1.2012
- 32 Kuisma, Ilpo. 2011. Lämpöpumpputeknologian hyödyntäminen kerrostalorakentamisessa. Insinööritoimisto. Tampereen Ammattikorkeakoulu.
- 33 Kuisma, Petri. 2011. Lämpöpumput ja IV:N LTO. verkkodokumentti. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. < <http://www.kiinteistoyhdistysoulu.fi/sivut/wp-content/uploads/petri-kuisma.pdf>>. Päivitetty 31.3.2011. Luettu 30.1.2012.
- 34 Virta, Jari. Pyysi, Petri. 2011 Taloyhtiön energiakäsikirja. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus Oy, SITRA.

Liite 1. Kaukolämmön hinta**KAUKOLÄMMÖN MYYNTIHINNAT 1.10.2011 ALKAEN**

PERUSMAKSUT (euron tarkkuudella)

Tilaus- vesivirta m³/h	Veroton hinta €/kk	Verollinen hinta €/kk	Tilaus- vesivirta m³/h	Veroton hinta €/kk	Verollinen hinta €/kk	Tilaus- vesivirta m³/h	Veroton hinta €/kk	Verollinen hinta €/kk
≤ 0,30	34	42	4,4	380	468	22	1 414	1 739
0,35	56	69	4,8	405	498	24	1 528	1 879
0,40	64	79	5,2	430	528	26	1 642	2 019
0,45	72	88	5,6	454	559	28	1 756	2 159
0,5	80	98	6,0	479	589	30	1 870	2 300
0,6	96	118	6,4	503	619	32	1 984	2 440
0,7	112	137	6,8	528	650	34	2 098	2 580
0,8	121	149	7,2	553	680	36	2 212	2 720
0,9	130	160	7,6	577	710	38	2 326	2 860
1,0	139	171	8,0	602	740	40	2 440	3 001
1,2	157	194	8,4	627	771	42	2 554	3 141
1,4	176	216	8,8	651	801	44	2 661	3 273
1,6	189	233	9,2	676	831	46	2 768	3 405
1,8	203	250	9,6	700	862	48	2 875	3 536
2,0	217	266	10	725	892	50	2 982	3 668
2,2	230	283	11	787	968	52	3 089	3 800
2,4	244	300	12	844	1 038	54	3 197	3 932
2,6	258	317	13	901	1 108	56	3 304	4 064
2,8	271	334	14	958	1 178	58	3 411	4 195
3,0	285	351	15	1 015	1 248	60	3 518	4 327
3,2	299	367	16	1 072	1 318	64	3 732	4 591
3,4	312	384	17	1 129	1 388	68	3 947	4 854
3,6	326	401	18	1 186	1 458	72	4 161	5 118
3,8	340	418	19	1 243	1 528	76	4 375	5 382
4,0	353	435	20	1 300	1 599	80	4 590	5 645

ENERGIAMAKSU

veroton hinta
49,50 €/MWhverollinen hinta
60,89 €/MWh

Verollinen hinta sisältää arvonlisäveron 23 % verottomasta hinnasta.

Liite 2. Sähkön hinta



SÄHKÖHINNASTO

SÄHKÖMAKSUT TAMPEREEN SÄHKÖVERKKO OY:N JAKELUALUEELLA 1.6.2011 ALKAEN, VEROLUOKKA I

Kotitaloudet, maatalous sekä palvelutoiminnot.

Veroluokka I sisältää sähköveroja 1,703 snt/kWh (alv 0%). Sähköverot lisätään siirron energiamaksuihin.

Siirron perusmaksut sisältävät mittalaitemaksun.

Mittauksen etusulake ≤ 63 A *	Sähkön myynti veroton hinta	Sähkön myynti sisältäen alv 23%	Sähkön siirto veroton hinta	Sähkön siirto sisältäen sähköverot ja alv 23%	KOKONAISHINTA (myynti + siirto) sisältäen sähköverot ja alv 23%
Taloussähkö + Yleissiirto					
Perusmaksu	2,44 €/kk	3,00 €/kk	2,71 €/kk	3,33 €/kk	6,33 €/kk
Energiamaksu	6,02 snt/kWh	7,41 snt/kWh	2,74 snt/kWh	5,46 snt/kWh	12,87 snt/kWh
Hyötytuuli-sähkö + Yleissiirto					
Perusmaksu	2,44 €/kk	3,00 €/kk	2,71 €/kk	3,33 €/kk	6,33 €/kk
Energiamaksu	6,63 snt/kWh	8,16 snt/kWh	2,74 snt/kWh	5,46 snt/kWh	13,62 snt/kWh
Lämpösähkö + Alkasiirto					
Perusmaksu					
mittarin etusulake					
25 A	3,25 €/kk	4,00 €/kk	9,65 €/kk	11,87 €/kk	15,87 €/kk
35 A	3,25 €/kk	4,00 €/kk	12,36 €/kk	15,29 €/kk	19,20 €/kk
63 A	3,25 €/kk	4,00 €/kk	19,91 €/kk	24,49 €/kk	28,49 €/kk
Päiväenergiamaksu	6,33 snt/kWh	7,78 snt/kWh	2,87 snt/kWh	5,75 snt/kWh	13,53 snt/kWh
Yöenergiamaksu	5,24 snt/kWh	6,44 snt/kWh	1,23 snt/kWh	3,61 snt/kWh	10,06 snt/kWh
(yöaika klo 22 - 7)					
Kausisähkö 2 + Kausisiirto					
Perusmaksu					
mittarin etusulake					
25 A	3,25 €/kk	4,00 €/kk	13,79 €/kk	16,95 €/kk	20,96 €/kk
35 A	3,25 €/kk	4,00 €/kk	18,52 €/kk	22,78 €/kk	26,78 €/kk
63 A	3,25 €/kk	4,00 €/kk	33,34 €/kk	41,01 €/kk	45,01 €/kk
Talvikiipäviä	6,77 snt/kWh	8,33 snt/kWh	3,82 snt/kWh	6,79 snt/kWh	15,12 snt/kWh
Muu aika	5,16 snt/kWh	6,35 snt/kWh	1,69 snt/kWh	4,17 snt/kWh	10,52 snt/kWh
(talvikiipäviä 1.11. - 31.3. ma - la (klo 7 - 22))					
Taloussähkö + Tilapäissiirto					
Perusmaksu	2,44 €/kk	3,00 €/kk	6,39 €/kk	7,85 €/kk	10,86 €/kk
Energiamaksu	6,02 snt/kWh	7,41 snt/kWh	2,74 snt/kWh	5,46 snt/kWh	12,87 snt/kWh
Hyötytuuli -osuus					
Hyötytuuli					
-osuuden lisämaksu					
1000 kWh vuodessa	3,89 €/kk	4,78 €/kk			

* Sulake rajoitus koskee uusia sopimuksia.

Mittauksen etusulake > 63 A	Sähkön myynti veroton hinta	Sähkön myynti sisältäen alv 23%	Sähkön siirto veroton hinta	Sähkön siirto sisältäen sähköverot ja alv 23%	KOKONAISHINTA (myynti + siirto) sisältäen sähköverot ja alv 23%
Markkinasähkö + Yleissiirto					
Perusmaksu	8,13 €/kk	10,00 €/kk	17,47 €/kk	21,49 €/kk	31,49 €/kk
Energiamaksu	7,37 snt/kWh	9,06 snt/kWh	2,74 snt/kWh	5,46 snt/kWh	14,52 snt/kWh
Markkinasähkö + Tilapäissiirto					
Perusmaksu	8,13 €/kk	10,00 €/kk	37,83 €/kk	46,53 €/kk	56,53 €/kk
Energiamaksu	7,37 snt/kWh	9,06 snt/kWh	2,74 snt/kWh	5,46 snt/kWh	14,52 snt/kWh

Myyntihinnan muutos 1.6.2011

Liite 3. Lämmitystarveluvut 1971–2000

Lämmitystarveluvut 1971–2000

Vertailupaikkakunta	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Maarianhamina	599	577	559	424	216	36	7	22	160	320	433	543	3 896
Helsinki Kaisaniemi	657	619	574	404	169	12	2	15	144	331	468	594	3 989
Turku	667	629	582	399	170	19	4	23	170	352	488	612	4 115
Helsinki-Vantaa	691	647	593	402	165	18	4	27	185	364	502	631	4 229
Pori	680	639	589	413	189	25	5	29	195	364	500	627	4 255
Tampere-Pirkkala	734	681	614	411	186	29	6	39	211	382	537	672	4 502
Lahti Laune	737	686	615	419	172	25	6	36	215	394	533	674	4 512
Vaasa	732	667	620	445	215	33	9	47	221	397	535	667	4 588
Lappeenranta	771	702	624	425	177	26	6	34	204	404	548	691	4 612
Kuopio	820	748	657	468	213	34	8	43	216	415	579	742	4 943
Jyväskylä	789	727	650	464	217	43	13	63	251	427	576	725	4 945
Joensuu	837	762	670	479	231	43	12	55	237	434	598	759	5 117
Oulu	829	749	674	484	263	49	11	62	243	442	606	758	5 170
Kajaani	867	783	695	502	260	59	21	82	266	460	630	795	5 420
Sodankylä	964	840	759	570	358	113	55	150	330	545	742	911	6 337
Ivalo	947	823	752	575	387	153	76	157	328	545	744	894	6 381